

ESTRUCTURAS LAMINARES DE HORMIGÓN ARMADO COMO MÉTODO RESOLUTIVO FRENTE A GRANDES LUCES



Alumno: Alejandro Martín Falcón
Tribunal B: Antonio Jaramillo Morilla, José Sánchez Sánchez Rafael Suárez Medina
Curso: 2017 / 2018

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

ÍNDICE

1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN.....	01
1.1. Descripción.....	01
1.2. Justificación.....	02
1.2.1. El marco normativo.....	03
1.3. La metodología.....	04
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	04
2.1. Introducción.....	04
2.2. Clasificación de las estructuras de elementos superficiales.....	06
2.3. Clasificación geométrica de las estructuras laminares.....	06
3. REFERENTES.....	09
Hipódromo de la Zarzuela.....	10
Stockwell Bus Garage.....	12
Ópera de Sydney.....	14
Terminal del Aeropuerto de Lambert-St. Louis.....	16
Planta Embotelladora de Bacardí.....	18
Casa D6-3.....	20
Casa del Acantilado.....	22
Casa Balint.....	23
Casa sobre el paisaje.....	24
4. EL MODELO DE ANÁLISIS.....	26
4.1. Estudio previo del caso de estudio. Casa del Acantilado.....	26
4.2. Consideraciones previas al análisis del caso de estudio.....	27
5. DATOS DE PARTIDA PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	29
5.1. Magnitudes, métodos de cálculo y valores numéricos según normativa vigente.....	29
5.1.1. Materiales.....	29
5.1.2. Cargas.....	29
5.1.3. Combinaciones de carga y estados límite.....	30
6. DIAGNÓSTICO.....	34
6.1. Estados Límite Últimos.....	34
6.2. estados Límite de Servicio.....	35
7. CONCLUSIONES.....	39
7.1. Introducción.....	39
7.2. Entre la expresión y la función.....	39
7.3. Entre la masa y la fuerza.....	39

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

1. OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN

1.1. Descripción

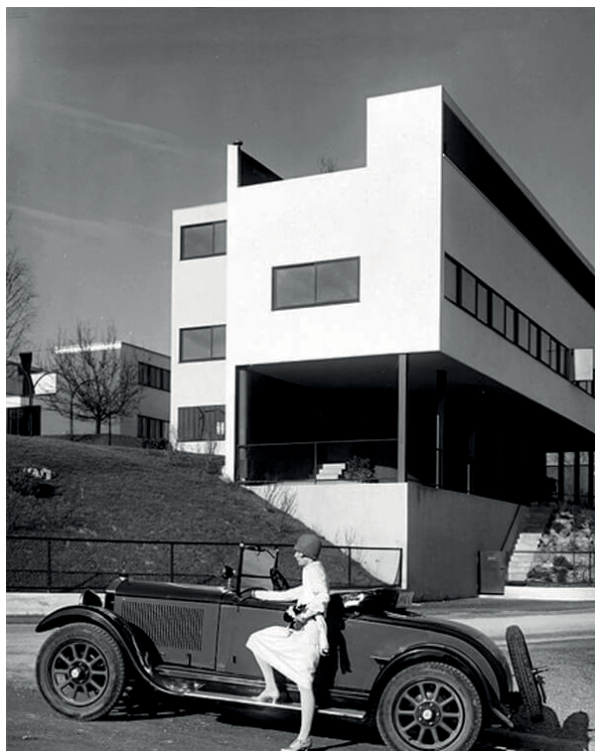
En el mundo actual de la arquitectura, cada vez es más frecuente recurrir a soluciones de diseño cuya idea tiene origen en el concepto de un gran espacio ingravido y de envolvente extrafina, obviándose el importante papel que juegan, sino el que más, las estructuras en este tipo de soluciones estéticas. Sin embargo, muchos proyectos pierden la pureza del concepto inmediatamente después de aplicar la gravedad a los primeros bocetos, resultado desencadenado por una pobre sinergia entre estructura y e imagen formal en los inicios del mismo.

El presente trabajo pretende estudiar, analizar y diagnosticar el alcance de las estructuras laminares de hormigón, como potente componente formal en este tipo de proyectos, tomando como referencias varios proyectos contemporáneos ya construidos y, como caso de estudio, la Casa del Acantilado proyectada por Fran Silvestre y estructura calculada por David Gallardo.

El trabajo elaborado tiene por objeto establecer unas líneas generales de consideraciones y referencias numéricas para dar soporte a las ideas iniciales de estos tipos de proyectos, donde las estructuras se hacen tan evidentes que pasan desapercibidas, consiguiendo así una extraordinaria ilusión óptica.

1.2. Justificación

Las tecnologías y los métodos de diseño y cálculo de estructuras disponibles en el mundo actual de la edificación se están abriendo paso paulatinamente frente a los tipos convencionales, los cuales son fundamentales para conocer y alcanzarlos con éxito pero que parecen aun primar en las soluciones de la mayoría de los proyectos sin aportar avances que favorezcan el desarrollo de la arquitectura, y no queremos darnos cuenta.



¿Acaso hemos olvidado que nuestro compromiso como arquitectos, como técnicos relacionados directamente con las tecnologías en general, se fundamenta en desarrollar espacios que faciliten la vida en la sociedad? Pocas son las celebridades que, desde los años 30, cuando por entonces la arquitectura creció con bastante éxito, han dado un gran paso hacia delante hallando un nuevo término tecnológico y científico de gran utilidad en la arquitectura. Así databa Le Corbusier aquel rápido desarrollo de la labor edificatoria frente a la fabricación de automóviles, donde la vivienda que proyectó para la Weissenhofsiedlung de Stuttgart es comparada con el diseño de un automóvil del momento generándose un contraste de líneas, pues su intención fotográfica no era más que un manifiesto de la seriación en la arquitectura como lo hacen las industrias de los automóviles. Sin embargo, hoy en día aun se construyen edificaciones que siguen las mismas líneas estéticas de diseño derivadas de aquella década, pero muy distintas y mucho más novedosas en automoción.

Vivienda de la Weissenhofsiedlung para la exposición celebrada en Stuttgart, proyectada por Le Corbusier en 1927. La fotografía incluye un vehículo de la época para datar la imagen y ubicarla en el tiempo. Fuente: Pinterest.

Cierto es que las ingenierías de toda índole han aportado soluciones muy innovadoras en todos los medios que nos rodean, exclusivamente en el campo de los sistemas constructivos e instalaciones si hablamos de arquitectura. Pero, ¿qué pasa con las estructuras? Aún seguimos proyectando convencionalmente muros y pilares de ladrillo, hormigón, acero y madera cuando otros campos en edificación ya tienen asentada la domótica, por ejemplo, como sistema que trabaja automáticamente para satisfacer las necesidades del usuario sin la constante atención de éste. No obstante, en estructuras seguimos luchando con la gravedad, las fuerzas eólicas y las aceleraciones tectónicas, recurriendo en la mayoría de los casos a términos y soluciones que una vez más limitan la imagen innovadora de nuestros proyectos.

Por ello, los casos de estudio aquí expuestos ayudan a reflexionar acerca de las estructuras, de cómo mediante ellas podemos seguir una línea de investigación y revolucionar las líneas de diseño; aumentar la calidad y superficies útiles de los espacios interiores para una sociedad que, con razón, exige cada vez más, edificios multusos, flexibles, reutilizables y completamente diáfanos en un mercado de suelo cada vez más escaso.

1.2.1.El marco normativo

El marco normativo aplicado a las estructuras laminares de hormigón no es muy extenso, pues las estructuras de hormigón son sistemas asentados en la ciencia de la edificación desde hace décadas y su funcionamiento está ampliamente conceptualizado.

Este marco está constituido por los siguientes documentos:

- Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1
<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0029473&PDF=Si#.WuRp04jFKHs>
- Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-2
<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0051038&PDF=Si#.WuRvcYjFKHs>
- Código Técnico de la Edificación. DB-SE
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE.pdf>
- Código Técnico de la Edificación. DB-SE: Acciones en la edificación
<https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/seguridadEstructural/DBSE-AE.pdf>
- Instrucción de Hormigón Estructural
https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/ORGANOS_COLEGIADOS/MASORGANOS/CPH/instrucciones/EHE_es/
- Norma de Construcción Sismorresistente 2002 (NCSE-02)
<https://www.fomento.gob.es/MFOM.CP.Web/handlers/pdfhandler.ashx?idpub=BN0222>

De la Instrucción de Hormigón Estructural es de interés para este campo los artículos 23º y 58º, donde se especifican una serie de reglas a seguir para el diseño de las estructuras laminares de hormigón, haciendo referencias a otros artículos de la misma instrucción para facilitar su cálculo y su ejecución en obra.

Algunas de estas normas, como son los Eurocódigos, son de acceso privado ya que hay que su acceso tiene un coste. Otras normas, como son la EHE-08, la NCSE-02 y el CTE son de acceso libre y gratuito.



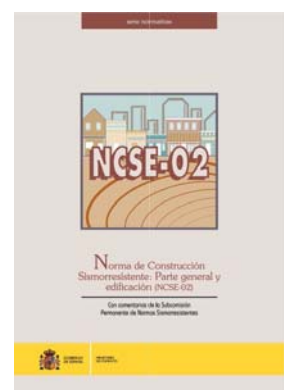
Código Técnico de la edificación



Eurocódigos



EHE 08



NCSE 02

1.3. Metodología

El trabajo se desarrollará a través de la búsqueda, identificación y clasificación documental, la redacción del tema en estudio acudiendo a referencias y tomando una de ellas como caso de estudio, un análisis práctico del caso de estudio, comprobación de resultados, conclusiones y anexos con contenido bibliográfico, procesos informáticos mediante SAP2000 y otros documentos de carácter gráfico-técnico.

El contenido bibliográfico y documental consultado proviene de diversos formatos de fuentes, entre los cuales se encuentran un amplio listado de direcciones web, libros y revistas disponibles en la biblioteca de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla y documentación gráfico-técnica concedida por Fran Silvestre y David Gallardo bajo la petición del autor de este trabajo.

Cabe destacar la amabilidad y compromiso de los autores del proyecto seleccionado como caso de estudio, anteriormente citados, cuyas aportaciones han facilitado enormemente el desarrollo de este trabajo y han resultado de enorme interés y utilidad, no sólo como una labor práctica para el autor de este trabajo sino también como una rica fuente de información para el aprendizaje -y de difícil accesibilidad dada su escasa información detallada en las ediciones publicadas- en el campo de la estructuras laminas.

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. Introducción

Las estructuras laminas son superficies delgadas -curvas o planas- que responden favorablemente a las cargas de peso propio y a las cargas añadidas de uso, fenómenos climáticos y sismos, ya sean permanentes o variables. El funcionamiento de este tipo de estructuras se basa fundamentalmente en su configuración geométrica, más allá de la capacidad resistente del material. Mediante la geometría, pueden alcanzarse diseños atractivos y exentos de soportes lineales o puntuales -éstos son muros y pilares- a modo de "papiroflexia", generando así espacios ininterrumpidos, facilitando la adaptación a múltiples usos.

En su origen, estas estructuras se diseñaban y construían exclusivamente por medio de superficies de curvatura simple, donde el concepto de las geometrías que las constituían mantenía una lógica de funcionamiento más clara que si de una superficie plana se tratase: pues una superficie plana es susceptible de sufrir una mayor deformación perpendicular a su plano que una cúpula, por ejemplo. Por otra parte, cabe citar que los medios tecnológicos de entonces no permitían construir estructuras laminas planas.

En este campo, las cúpulas son uno de los elementos más antiguos considerados en estructuras laminas; pueden encontrarse edificaciones construidas desde la antigüedad cubiertas con cúpulas de diversos materiales. Una de las tipologías edificatorias que lo corroboran pueden ser los Tholos funerarios, los Iglúes esquimales o los Trullos del sur de Italia.

Con el paso del tiempo y el desarrollo de la civilización y las tecnologías disponibles, estas cúpulas se construían en piedra u otros materiales pesados como el hielo en el caso de los Iglúes, dando el salto a piezas más pequeñas y ligeras como son el ladrillo -lo que permitía un perfeccionamiento de la curvatura de la cúpula- hasta llegar a la madera, con la cual se aligeraba bastante la estructura y se alcanzaban geometrías difíciles de conseguir con los anteriores materiales.

En la edad romana se recurría a las cúpulas para cubrir basílicas, mausoleos, baños, etc. Y no sólo con los materiales antes citados, por entonces ya se conocía el hormigón en masa, compuesto por un mortero hidráulico (un tipo de cerámica) y aglutinante (cal o yeso proveniente de rocas o escombros de otros edificios demolidos, pero preferiblemente se usaban cenizas volcánicas). Un gran ejemplo de ello es el Panteón de Roma (120-124 D.C.) de 44 metros de diámetro.

No sólo las cúpulas son los elementos estructurales ya empleados en la antigüedad; las bóvedas, construidas en ladrillo, también suponen una familia importante en el origen de las estructuras laminas.

Debido a la aparición del hierro, evolucionaron todos los tipos de estructuras tanto edificatorias como civiles. En el campo que nos interesa, también evolucionaron las estructuras laminas, abriendo paso a las estructuras laminas de hormigón armado y surgiendo las estructuras laminas de doble curvatura, las cuales supusieron un gran paso tecnológico en el siglo XX. Es entonces



Cierto es que su desarrollo a mitad de siglo se debe en gran medida a las consecuencias de la 2ª Guerra Mundial, ya que el acero escaseaba y sus construcciones suponían un bajo coste en la mano de obra. No obstante, tras la desaparición de maestros de las láminas de hormigón armado como lo eran Eduardo Torroja, Pier Luigi Nervi, Eero Saarinen o Félix Candela, dejaron de ser abundantes en la edificación a partir de los años 70. Pocos autores posteriores como Heinz Isler u Óscar Niemeyer aun continuaron desarrollando este legado en sus obras.

Fotografía aérea del terremoto ocurrido en Turquía en 1999, donde se aprecia el estado de conservación de la cúpula frente a los edificios colindantes, derrumbados. Se ilustra en la cubierta de la monografía dedicada a las estructuras laminas, de la revista STAR, N°4.

Hoy en día, pocas son las referencias que podemos rescatar como auténticos ejemplos del empleo de estructuras laminas en hormigón armado en la actualidad, siendo éstas de dimensiones mucho menores que las alcanzadas en los tiempos de auge.

Quizás es que pasó el tiempo del hormigón en la arquitectura y los Corbusier, Kahn o Kenzo Tange, creadores de una filosofía de lo estable, perfecto y bello, han sido sustituidos por artistas del diseño adaptable, caligráfico y elegante. [...] Pero las estructuras laminas no están agotadas. Son una reserva que tarde o temprano volverá a florecer quién sabe de qué modo y en qué imágenes. Estructuras laminas fueron desde el Panteón en Roma todas las grandes cubiertas. La fotografía de la cubierta muestra que después del terremoto en 1999 en Turquía en algunos lugares sólo permaneció en pie la cúpula de la mezquita. No es un símbolo de estabilidad, lo es de la voluntad de eternidad que tiene esa arquitectura.

(Escrib, 1999, página 1).

2.2. Clasificación de las estructuras de elementos superficiales

Las estructuras se clasifican en diferentes familias, atendiendo a los tipos de los elementos que la constituyen, la configuración geométrica, los usos, los materiales e incluso los métodos de ejecución en obra.

En el caso que investiga este trabajo, estableceremos un breve esquema para definir y clasificar los usos y el comportamiento de las estructuras constituidas por elementos superficiales y posteriormente, una clasificación geométrica de las estructuras laminares:

-Muros: llamamos muro a aquellos elementos estructurales verticales superficiales los cuales están diseñados para resistir esfuerzos cortantes, lo que significa que no están diseñados para recibir esfuerzos tangenciales ni esfuerzos a flexión. Un ejemplo clásico es el muro de carga de fábrica de ladrillo; puede sostener el forjado que apoya en él, pero no responderá favorablemente a acciones horizontales perpendiculares a su plano ni a acciones tangenciales dentro del plano cuando se traten de esfuerzos a tracción. En este tipo de estructuras, cabe citar la importancia de la excentricidad de la carga, que puede suponer pandeos no deseados.

-Muros de contención: alternativamente al caso anterior, existen otros muros diseñados exclusivamente para contener tierras en taludes o excavaciones. Debido a las hipótesis planteadas en estos casos, el muro sí debe responder esta vez a cargas perpendiculares a su plano -esto son esfuerzos a flexión-, lo que supone un funcionamiento mecánico. Entre ellos encontramos dos tipos: muros de contención rígida y muros de contención flexibles. Los primeros funcionan básicamente por gravedad, siendo su peso mayor que el empuje del terreno, evitando así deslizamientos y vuelcos, cuyo espesor es considerablemente grueso, por lo que no tiene capacidad de deformación. Los segundos son de un espesor mucho más delgado, asumiendo una deformación debido al empuje del terreno, pero lo suficientemente fuertes para vencer ese empuje. Estos últimos se denominan pantallas.

-Losas: existen diversos tipos de losas, pero en general son elementos superficiales horizontales, empleados normalmente en forjados y cimentaciones, construidas de hormigón armado. Reciben cargas perpendiculares a su plano, por lo que asumen esfuerzos a flexión principalmente mientras se encuentran apoyadas en elementos lineales o puntuales, por lo que también asumen esfuerzos a cortante.

-Membranas: son elementos superficiales estructurales que sólo asumen esfuerzos tangenciales. No tienen rigidez ante los esfuerzos a flexión y/o cortante. Un ejemplo de ellas es la vela de un barco.

-Láminas: Son elementos superficiales de delgado espesor que trabajan bajo esfuerzos a flexión, cortante y tangenciales. Estos elementos son las cúpulas o las bóvedas, así como aquellas otras superficies de doble curvatura, como un paraboloide hiperbólico.

2.3. Clasificación geométrica de las estructuras laminares

Las láminas en sí pueden adoptar múltiples geometrías para trabajar bajo las cargas, pero no todas las opciones geométricas que imaginemos funcionan bajo cualquier carga. Por ello se establece a continuación una breve clasificación de las geometrías que pueden adoptar las láminas en función de su curvatura:

-Planas: son láminas cuyo radio de curvatura es infinito. No requieren procesos complejos de diseño, ni cálculo, ni de ejecución en obras.

-Curvas: en este apartado cabe diferenciar los tipos en función de su generación y su curvatura:

- o Según su generación:

De revolución: se genera por la rotación de una curva plana (generatriz) alrededor de un eje contenido en el plano de la curva. Como ejemplo encontramos el cono o la semiesfera.

De traslación: se genera a partir de trasladar una curva plana (generatriz) perpendicular a un eje y a lo largo de éste (directriz). Una bóveda es un claro ejemplo.

- o Según su curvatura: encontramos dos subgrupos, de curvatura simple y doble:

Curvatura simple: pueden ser generadas por revolución, como es el caso de un cono a través de la revolución de una recta (generatriz) alrededor de un eje coplanario a dicha recta. O bien generadas por traslación, como es el caso de la generación de una bóveda mediante la traslación de media circunferencia a lo largo de un eje perpendicular a su plano (directriz).

De curvatura total positiva: son aquellas superficies que contienen dos radios de curvatura contenidos en dos planos distintos y que cuyos centros se encuentran al mismo lado de la superficie. Un ejemplo podría ser la esfera o el elipsoide elíptico.

De curvatura total negativa: este caso es similar al anterior, salvo que los centros se encuentran en caras opuestas de la superficie, obteniéndose curvaturas distintas en dos direcciones. El paraboloides hiperbólico es un ejemplo de curvatura total negativa.

3. REFERENTES

A pesar de la escasa obra construida con estructuras laminares de hormigón armado en la actualidad, aun podemos rescatar algunas referencias de arquitectos reconocidos aun activos en la profesión, como son Eduardo Souto de Moura, Gallardo Llopis o Fran Silvestre; éste último como autor del proyecto del caso de estudio propuesto en este trabajo, en colaboración de David Gallardo. Sin embargo, también se exponen otros referentes de varias décadas atrás como puesta en valor de la revolución en la arquitectura de estructuras laminares desarrollada por estos Arquitectos e Ingenieros.

Las referencias mostradas a continuación se ordenan en orden cronológico:

HIPÓDROMO DE LA ZARZUELA

Autores: Eduardo Torroja, Carlos Arniches y Martín Domínguez

Año: concurso público convocado en 1934. Obra terminada en 1941.

Ubicación: Madrid, España.

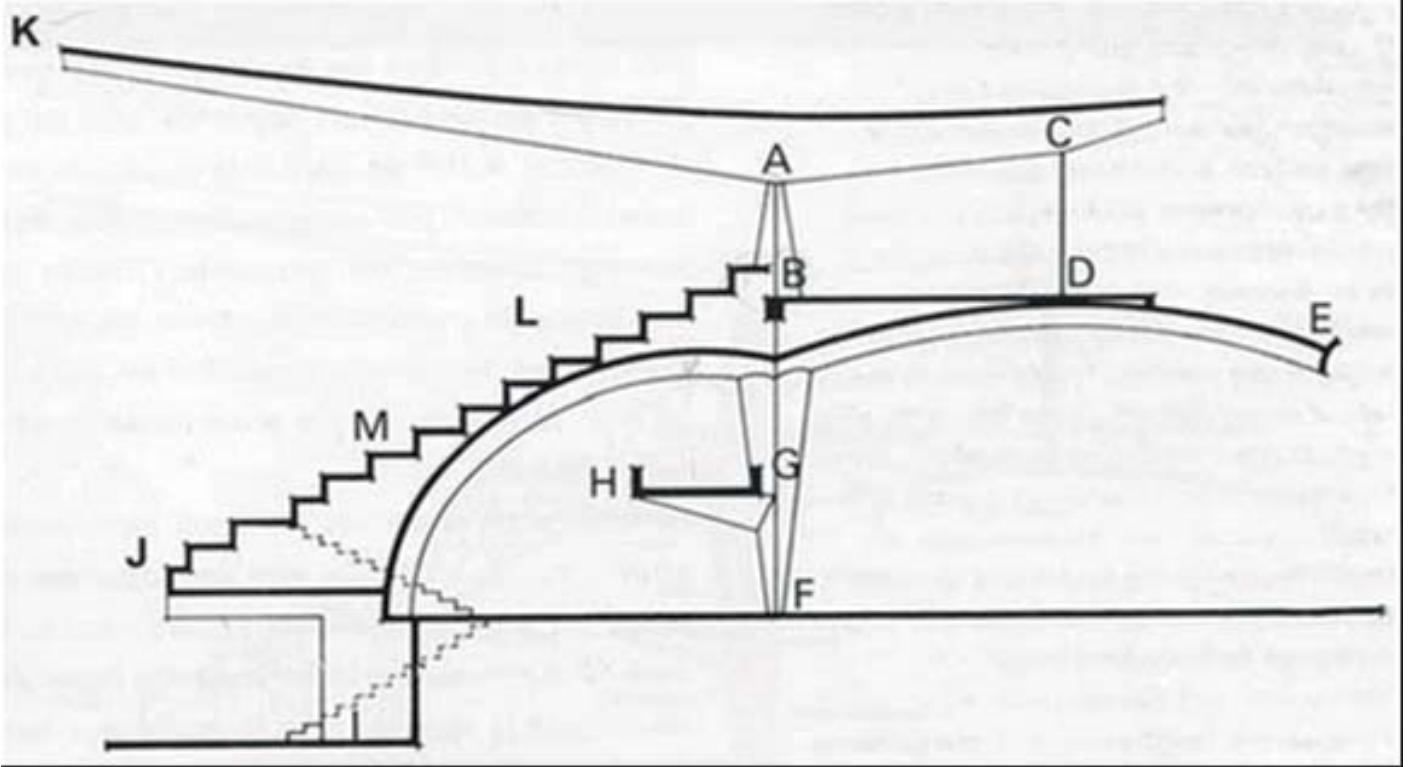
Geometría y dimensiones: hiperboloides de una hoja de 1,40m de flecha de arco y 2,75m de radio de curvatura en sección transversal y 0,50m de flecha de arco y 6,70m de radio de curvatura en sección transversal, sobre un solo apoyo entre hiperboloides cada 4,80 m, con vuelos de 12,80m hacia la pista y 7,00m a la espalda de la grada, con espesores de láminas de 0,14m en puntos de apoyo y 0,05m en extremo de voladizos.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

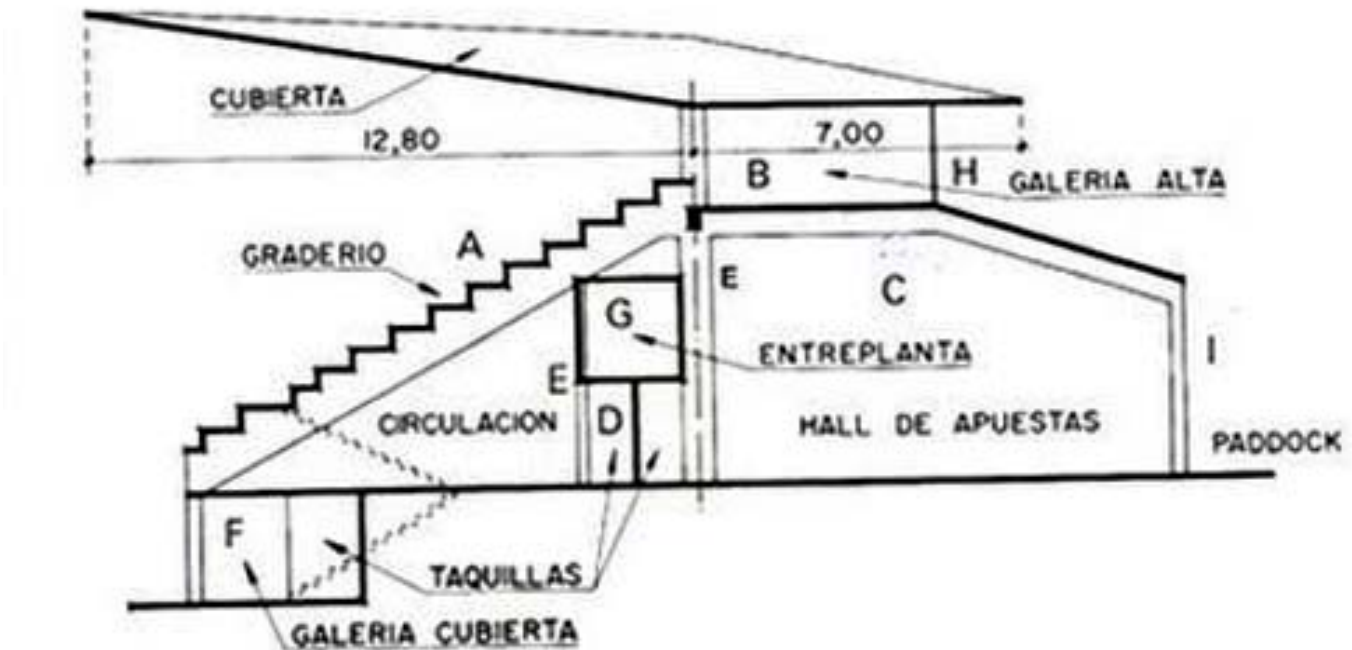
Constructora: Agroman E.C.



Graderío del hipódromo. Fotografía por Ana Amado.



Sección transversal. Geometría. Fuente: Estructuras de Eduardo Torroja. Ministerio de Fomento, 1999.



Sección transversal. Dimensiones básicas. Fuente: Estructuras de Eduardo Torroja. Ministerio de Fomento, 1999.

STOCKWELL BUS GARAGE

Autores: Adie, Button and Partners y A.E. Beer.

Año: Diseñado en 1949. Obra terminada en 1952.

Ubicación: Londres, Reino Unido.

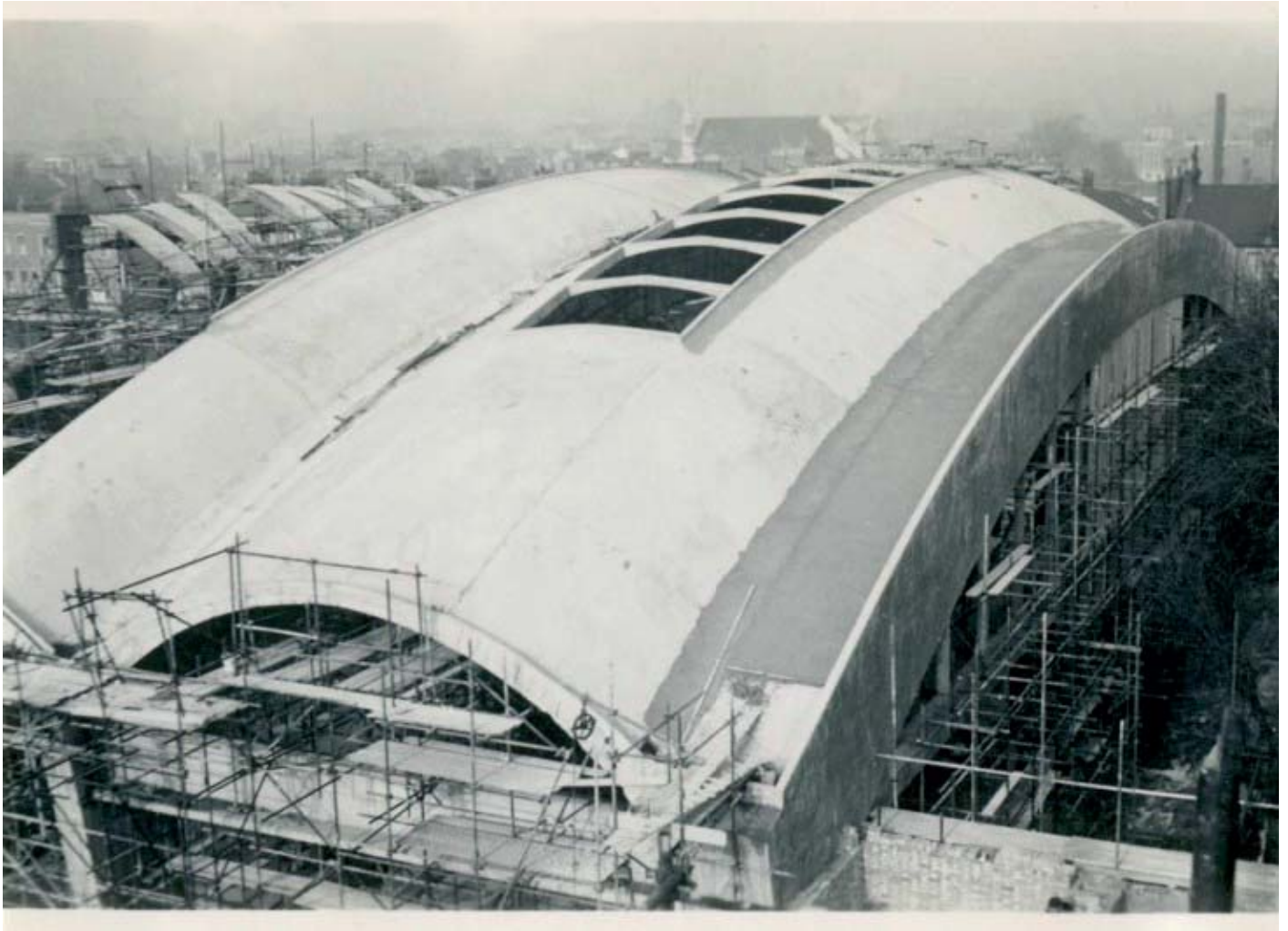
Geometría y dimensiones: Gálibo de 16m de altura total, mediante arcos de toroides de 13m de ancho en sección transversal y luces de 60m en sección longitudinal, con espesores medios de 0,10m.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

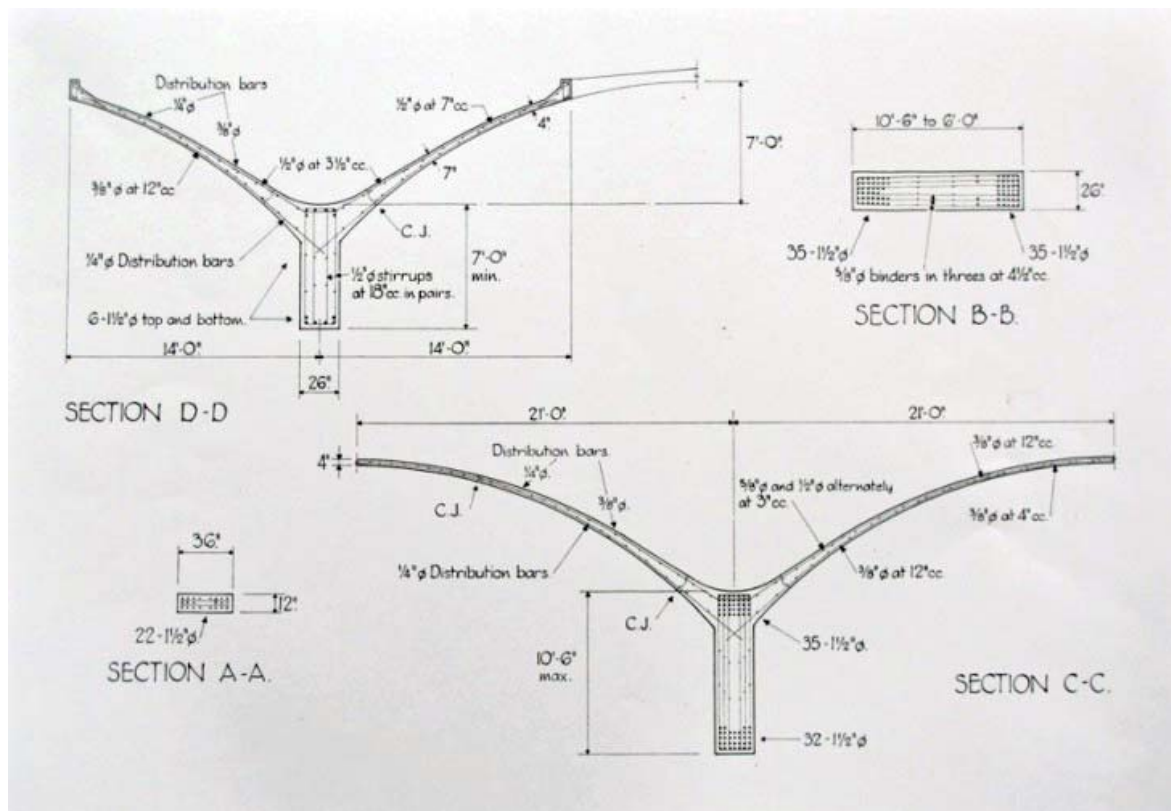
Promotora: Stockwell



Interior de hangar. Fuente: tectonicablog.



Obra de la construcción de la cubierta Fuente: tectonicablog.



Detalles de sección transversal de cubierta.

Fuente: tectonicablog.

ÓPERA DE SYDNEY

Autores: Jorn Utzon.

Año: Proyectado en 1957. Obra terminada en 1973.

Ubicación: Sydney, Australia.

Geometría y dimensiones: Las cubiertas son fragmentos de superficie de una misma esfera, con 75m de radio. El edificio mide 183x120m aprox.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

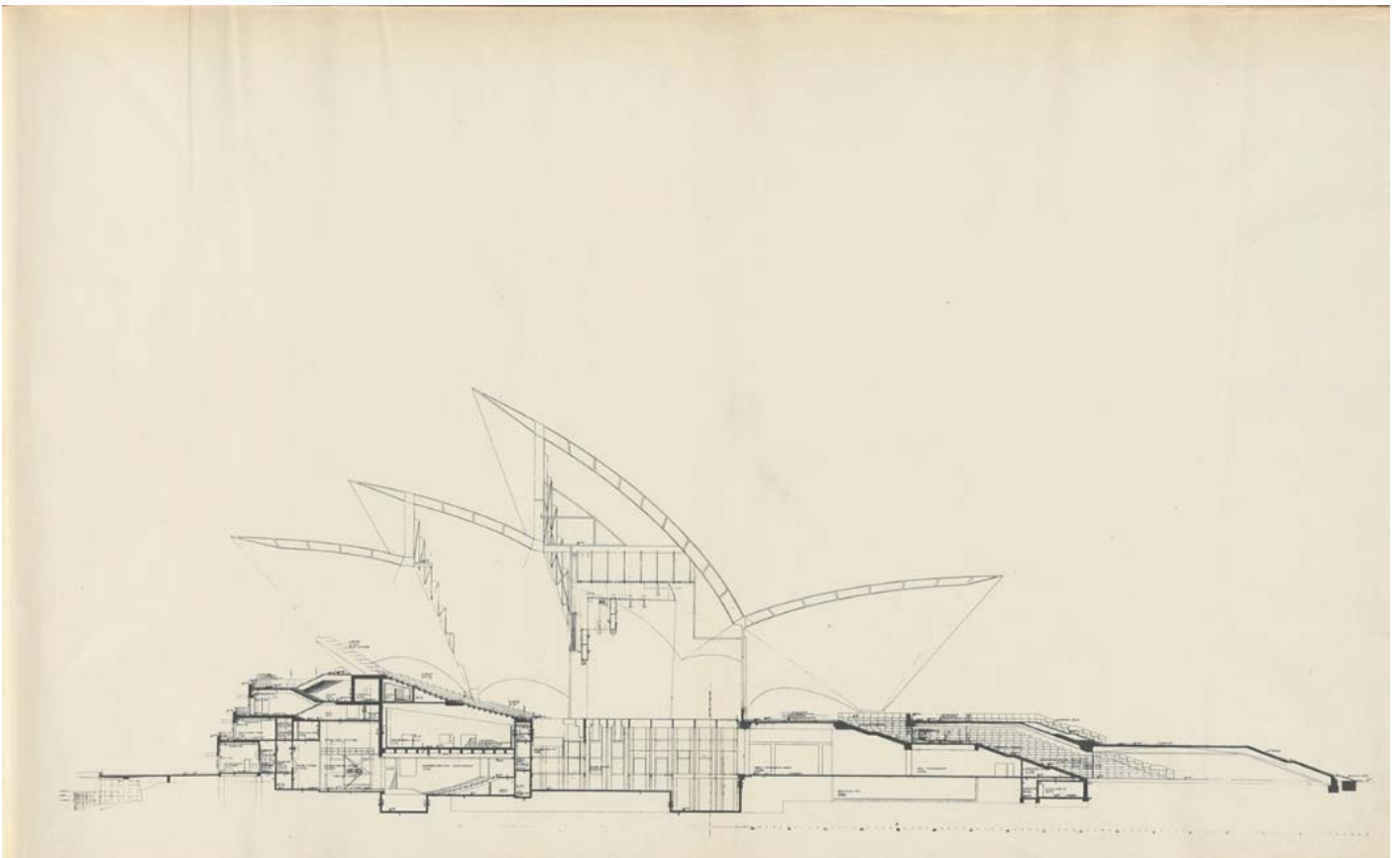
Ingeniería de estructuras: Ove Arup



Ópera de Sydney. Fuente: CCAustralia.



Ópera de Sydney en construcción. Fotografía por Robert Baudin para Hornibrook Ltd.



Sección longitudinal. Extraído del "El libro amarillo", por Jorn Utzon.

TERMINAL DEL AEROPUERTO DE LAMBERT-ST. LOUIS

Autores: Minoru Yamasaki y Anton Tedesko.

Año: Obra terminada en 1957.

Ubicación: Condado de San Luis. Estados Unidos.

Geometría y dimensiones: Salas de 36,60x36,60m., cubiertas por bóvedas de crucería de arco rebajado de 10m. de alto, aprox.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.



Exterior de la terminal. Fuente: www.globadyn.ipnstock.com



Interior de la terminal. Fuente: www.architecturimagazine.com



Construcción de cimbras. Fuente: news.stlpublicradio.org

PLANTA EMBOTELLADORA DE BACARDÍ

Autor: Félix Candela.

Año: 1960.

Ubicación: Cuautitlán, México.

Geometría y dimensiones: Bóvedas de crucería de hasta 30m. de luz, con láminas de 4cm de espesor en la cima de las bóvedas.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.



Vista aérea de la planta. Fuente: www.diseñoyarquitectura.net



Construcción de cimbras. Fuente: www.wikiarquitectura.com

CASA D6-3

Autor: Eduardo Souto de Moura.

Año: Proyectada en 2009. Obra terminada en 2012.

Ubicación: Ponte de Lima, Portugal.

Geometría y dimensiones: Porche abierto al cielo con láminas de 30cm aprox., 4,26m. de canto y 6,00x11,00m. de vuelo.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

Promotor: Particular



Exterior de la vivienda. Por Luis Ferreira Alves.



Vista del exterior del porche en voladizo. Por Luis Ferreira Alves.



Vista del interior del porche en voladizo. Por Luis Ferreira Alves.

CASA DEL ACANTILADO

Autores: Fran Silvestre. Estructuras: David Gallardo.

Año: Obra terminada en 2012.

Ubicación: Alicante, España.

Geometría y dimensiones: Voladizo de 6,80m. de vuelo por 18,00m. de largo, aprox. con láminas de 40cm de canto.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

Promotor: Particular



Panorama de la vivienda y el paisaje que lo circunda. Por Diego Opazo.



Construcción de la vivienda. Fuente: www.estructurasingulares.com

CASA BALINT

Autores: Fran Silvestre. Estructuras: David Gallardo.

Año: Obra terminada en 2012.

Ubicación: Alicante, España.

Geometría y dimensiones: Voladizo de 6,80m. de vuelo por 18,00m. de largo, aprox. con láminas de 40cm de canto.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

Promotor: Particular



Exterior de la vivienda. Por Diego Opazo.



Vivienda en construcción.
Por Diego Opazo.

CASA SOBRE EL PAISAJE

Autores: Gallardo Llopis Arquitectos.

Estado: En construcción.

Ubicación: Ibiza, España.

Geometría y dimensiones: Voladizo en torno a los 6m. de longitud y láminas de 30 a 40cm de espesor.

Material: hormigón armado ejecutado in situ.

Promotor: Particular



Imágenes de la vivienda en construcción: porche en voladizo y paisaje bajo el mismo. Por Gemma Aparicio Valero.

4. EL MODELO DE ANÁLISIS

4.1. Estudio previo del caso de estudio. Casa del Acantilado.

Como caso que promueve la investigación de este trabajo, se toma una obra reciente en la arquitectura actual, extraída de las referencias anteriores: Casa del Acantilado, proyectada por Fran Silvestre como autor del diseño y David Gallardo como estructurista.

La vivienda, de tipología unifamiliar aislada, se ubica en Calpe, un municipio situado en la costa alicantina, España. El lugar donde se inserta, muestra un paisaje rocoso y accidentado.

El programa que condiciona el proyecto se basa en una vivienda de una sola planta, lo que dificulta la relación edificio-suelo al disponer forzosamente un volumen de dominio horizontal frente a un terreno abrupto. Es por ello por lo que el arquitecto opta por erigir la vivienda separándola del suelo mediante muros de contención y de apoyo, a modo de periscopio, lo que realza el paisaje a través de los huecos de la vivienda, alcanzando mejores vistas.

La vivienda se constituye de una estructura tridimensional de láminas de hormigón armado, la cual configura tres niveles: en el nivel de acceso se encuentra el garaje y el primer contacto con la vivienda desde el exterior. Su espacio es meramente funcional. En él, se nos abren dos posibilidades: bajar un nivel y ser recibidos por el jardín y la piscina al aire libre como espacio desligado de la vivienda tanto en altura como en extroversión, o bien subir un nivel donde se descubre la vivienda propiamente dicha, mostrando el uniforme panorama del horizonte marítimo al fondo, contrastado con el peñón en primer plano. Los tres niveles se comunican mediante un ascensor, no obstante, la vivienda se comunica directamente con el jardín mediante una escalera que atraviesa con su meseta el muro lateral donde apoya la vivienda, generándose una transición repentina entre paisajes. (*)

La configuración estructural viene prácticamente descrita por las particiones interiores de la vivienda y la envolvente de ésta. En primer lugar, las láminas que arrancan desde el cimiento tienen la función principal de elevar la vivienda y, por consiguiente, sustentarla. A su vez, no culminan sus dimensiones en el contacto con el forjado de piso de la vivienda, sino que continúan su recorrido hasta alcanzar la cubierta. Es ahí donde una de las láminas, la situada en el borde extremo oeste, hace volar un pescante cuyo canto configura la fachada. Del mismo modo sucede con la primera lámina cercana a la anterior, solo que el pescante que vuela se convierte en una partición interior y abre un hueco, configurando así una puerta de paso en dicha partición. El resto de láminas no presentan voladizos. Por último, en el extremo este, la vivienda resuelve la fachada mediante un muro enterizo, donde apoya el gran voladizo, siendo el único elemento notablemente perceptible que mantiene relación directa con el terreno. En este muro se abre otro hueco, por el cual cruza la meseta de la escalera que comunica la planta de vivienda con la piscina. En general, todo se construye en hormigón armado encofrado y vertido in situ, para lo que fue preciso elaborar un proyecto auxiliar de cimbra metálica para hacer factible la ejecución del sugerente voladizo. (*)

Descrita la estructura, el funcionamiento de esta se resuelve sencillamente por un gran volumen sustentado por muros, cuyo voladizo se sustenta a su vez por las ménsulas voladas de éstos, ocultas en el interior de dicho volumen.

Describiendo las propiedades del suelo, como información sobre las características del terreno donde se apoya el edificio, según lo indicado en el informe geotécnico del suelo y según los valores estimados tras éste en el extracto de la memoria de cálculo (Anexo II), se considera que el coeficiente de balasto -bajo ensayo con placa de 30x30 cm.- es de 300kp/cm³, constante de muelle $K=20000\text{t/m}$ para los nudos de cimentación, un empuje activo en muros de $\lambda_a = 0.1$ y empuje pasivo de $\lambda_0 = 0.15$. No obstante, estos valores no serán estimados en el análisis que en el apartado 5. DATOS DE PARTIDA PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL se lleva a cabo.

(*) Los planos de arquitectura, el extracto de la memoria de cálculo y los planos de estructuras se muestran en el Anexo I y II respectivamente de este trabajo.

En cuanto a la tipificación del hormigón determinado en proyecto, se emplea Hormigón Armado de $f_{ck}=35\text{N/mm}^2$, consistencia Blanda, tamaño máximo del árido 20mm -40mm para cimentación-, expuesto a ambiente que presentan cloruros de origen diferente del medio marino (HA-35/B/20/IV y HA-35/B/40/IV), con un coeficiente parcial de seguridad de 1,5, por lo que la resistencia de cálculo se reduce a $23,33\text{ N/mm}^2$.

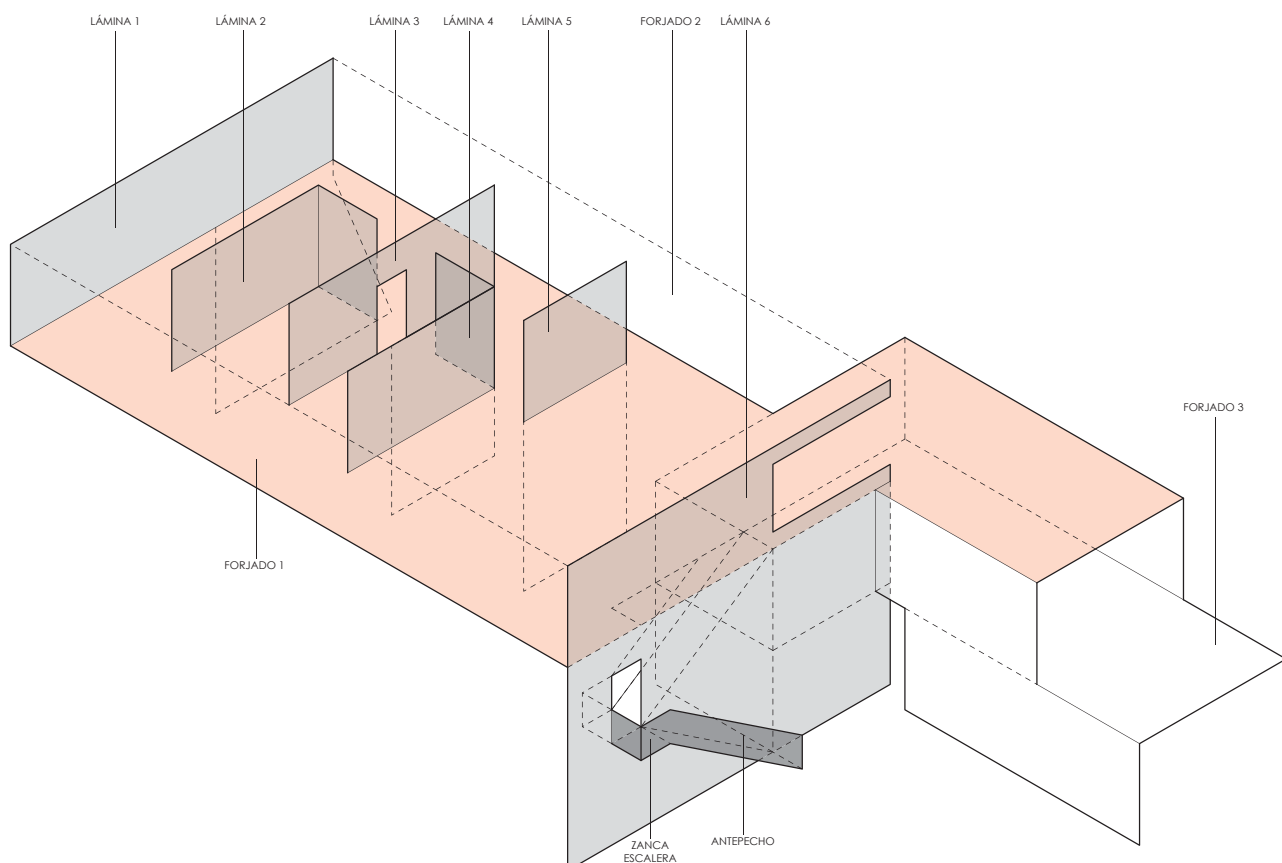
Con respecto al acero empleado en armaduras, se dispone de redondos corrugados de $\varnothing 20\text{mm}$, $\varnothing 16\text{mm}$ y $\varnothing 12\text{mm}$ para armaduras longitudinales y $\varnothing 8\text{mm}$ para cercos, estribos y antepechos en escalera exterior, en acero B-500SD, con recubrimientos de al menos 40mm en todas las piezas.

4.2. Consideraciones previas al análisis del caso de estudio.

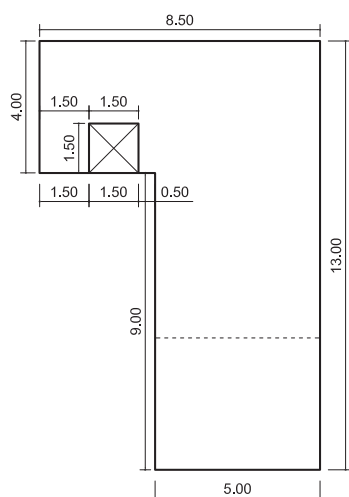
Dada la precisión con la que se ha proyectado y ejecutado el proyecto real, resulta complejo trasladar los datos al modelo de análisis con total exactitud para la envergadura que este trabajo requiere. Por tanto, se han tomado ciertas consideraciones sobre los datos extraídos de las referencias bibliográficas consultadas y los datos aportados por los autores en cuanto a dimensiones de la vivienda se refiere, así como a la desestimación de los cimientos y propiedades del suelo. Todo ello facilita el proceso de modelado de la estructura y el posterior análisis, puesto que el tema espinal que desarrolla este trabajo trata acerca de las estructuras de láminas en sí y sus propiedades mecánicas y funcionales.

Tampoco se ha considerado el vaso de la piscina ni la losa que se distribuye a lo largo del jardín, por las razones anteriormente comentadas.

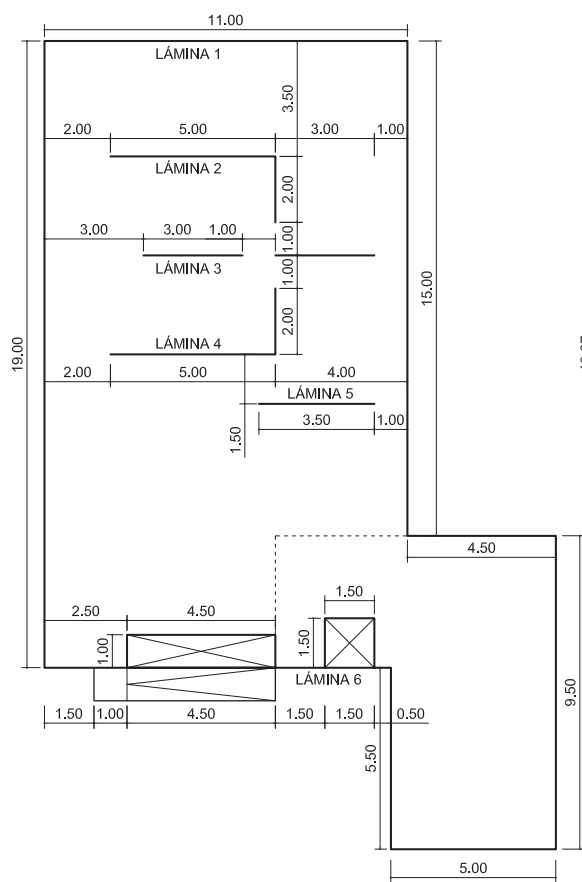
Las dimensiones que se han tomado son cercanas a las reales, medidas desde los ejes, sin embargo, tienden a ser cifras enteras -múltiplos de 0,50m.- de modo que no surjan errores de importación en el programa de cálculo y el proceso de modelado sea efectivo. Mediante este método, las superficies de la estructura quedan subdivididas en elementos finitos (de ahora en adelante Shells) de 50cm de lado en su mayoría. A continuación, se presenta el esquema de modelo estructural con las dimensiones que se han estimado en cada una de las piezas que constituyen la estructura, pudiéndose contrastar con las dimensiones reales contenidas en el Anexo I:



FORJADO 3



FORJADO 1



FORJADO 2

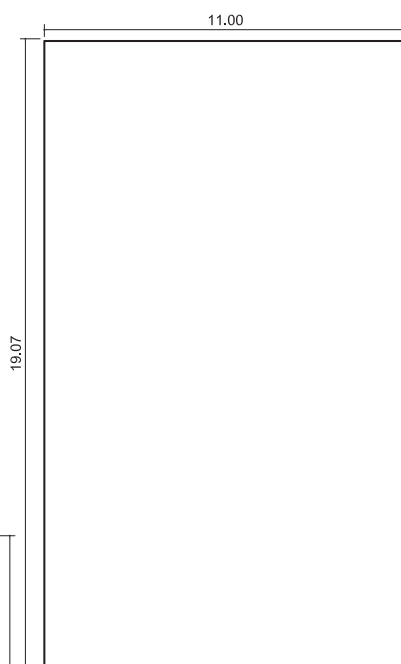


LÁMINA 1

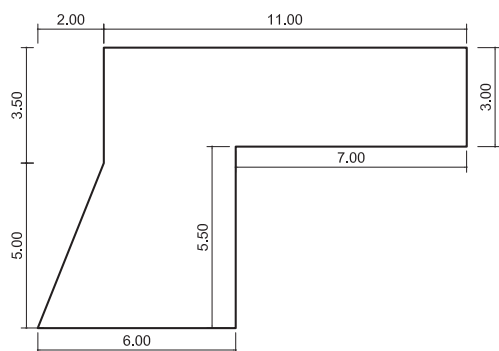


LÁMINA 3

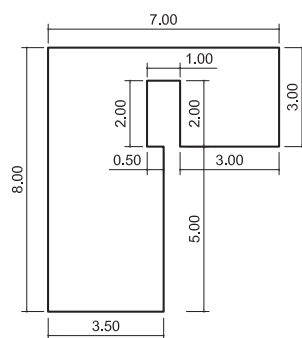


LÁMINA 5

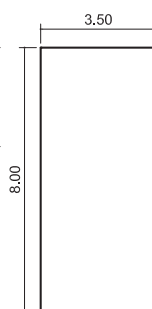
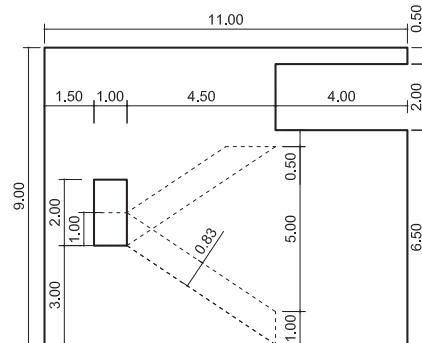


LÁMINA 6



5. DATOS DE PARTIDA PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

El análisis que se pretende llevar a cabo sobre el caso de estudio seleccionado se ha desarrollado mediante cálculo asistido por ordenador, a través del programa SAP2000 en su versión v14.0. La naturaleza de este software no aplica la normativa española automáticamente, por lo que algunos aspectos como son las combinaciones de cargas para los Estados Límites Últimos y Estados Límites de Servicio que el CTE determina, deberán introducirse manualmente. No obstante, el software sí considera otras normativas de uso internacional, como es el Eurocódigo en este caso.

Por otra parte, cabe indicar que la elección de este software se debe a que éste utiliza el cálculo por elementos finitos, a diferencia de otros programas de cálculo estructural los cuales utilizan el cálculo matricial. Este método de cálculo nos permite desarrollar la estructura en cuestión desde dos puntos de vista simultáneos: modelar la estructura con cualquiera forma que sugiera y obtener resultados más prácticos y cercanos a la realidad.

El procedimiento de diseño, importación de la estructura a SAP2000 y volcado de datos en el mismo queda explicado detalladamente en el Anexo III de este trabajo, así como los procedimientos y apartados consultados de los documentos pertinentes para la obtención de cargas, por lo que este apartado se referirá a datos generales y consideraciones de cálculo necesarias para comprender el paso de la estructura por este software y la obtención de resultados.

5.1. Magnitudes, métodos de cálculo y valores numéricos según la normativa vigente

Las magnitudes y valores que en este apartado se determinan corresponden con los datos extraídos de la documentación aportada por los autores y por la normativa española vigente -EHE-08, CTE-DB-SE, CTE-DB-SE-AE, Catálogo de Elementos Constructivos del CTE y NCSE-02-.

5.1.1. Materiales

La estructura del proyecto se concibe como un único sistema monolítico, en el que todas las partes trabajan simultáneamente, aunque no uniformemente. El material que mejor responde a estas solicitudes es el hormigón armado. En este caso, el hormigón empleado es HA-35/B/20/IV -árido de 40mm de diámetro para cimentaciones- con acero B-500SD, ya descritos en el apartado 4.1 Estudio previo del caso de estudio. Para el cálculo, se procederá a su minoración mediante un coeficiente de seguridad de 1,5 para control de ejecución normal según EHE-08, por lo que la resistencia de cálculo es $f_{cd} = 23,33 \text{ N/mm}^2$.

5.1.2. Cargas

En un edificio actúan varias cargas de distintas naturalezas y simultáneamente, ya sean estáticas o dinámicas. Para desarrollar el proyecto de estructuras, es necesario conocer estas cargas, cuyos valores podemos obtenerlos auxiliándonos de la normativa arriba comentada. Las cargas introducidas para este análisis se han considerado adicionalmente la carga permanente de la grava en cubierta y la acción del viento en una sola dirección (Y), puesto que, en la dirección contraria, debido al terreno abrupto a las espaldas del edificio, puede considerarse que el viento no fluye.

Por otra parte, es necesario indicar que las cargas introducidas en SAP2000 son proporcionales a estas, es decir, la unidad de estas cargas se refiere a la unidad de superficie en m^2 , mientras que en SAP2000, las cargas se introducen individualmente en cada una de las Shells adaptadas a sus dimensiones de área. En el Anexo III, se indican las correspondencias entre cargas por m^2 y Shells.

A continuación, los valores de las cargas introducidos son:

- Peso propio de la estructura = calculada por el software empleado
- Peso propio de los elementos de partición y fachadas (incluidos en la estructura)
- Carga permanente de grava en cubierta (5cm de espesor) = 0,981kN/m²
- Sobrecargas de uso = 2kN/m²
- Sobrecargas de nieve en cubiertas = 0,20 kN/m²
- Cargas de viento (en dirección Y):
Xp=1,20 kN/m², Xs=0,75kN/m²; Yp=1.05 kN/m², Ys=0,60kN/m²
- Aceleración sísmica = 0,08m/s²

5.1.3. Combinaciones de cargas y estados límite

Para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura, hay que atender a dos aspectos simultáneos que ésta debe cumplir: la capacidad portante y la aptitud al servicio. La capacidad portante está limitada por el Estado Límite Último (ELU), cuyo valor a partir del cual se considera que la estructura colapsa. La aptitud al servicio está limitada por el Estado Límite de Servicio (ELS), cuyo valor a partir del cual, la estructura no cumple las condiciones mínimas de habitabilidad aunque no se produzca el colapso.

El código Técnico de la Edificación establece un método de cálculo basado en formulación de hipótesis según la combinación de cargas considerada. Estas hipótesis se generan a partir de distintas situaciones (persistente, transitoria i extraordinaria) y los distintos coeficientes de seguridad considerados en las distintas hipótesis. En nuestro caso tomaremos las expresiones determinadas para situaciones persistentes o transitorias.

Para el Estado Límite Último, el Código Técnico determina la siguiente expresión para una situación persistente o transitoria:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Donde se incluyen:

- a) todas las acciones permanentes, en valor de cálculo ($\gamma_G \cdot G_k$), incluido el pretensado ($\gamma_P \cdot P$);*
- b) una acción variable cualquiera, en valor de cálculo ($\gamma_Q \cdot Q_k$), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;*
- c) el resto de las acciones variables, en valor de cálculo de combinación ($\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$).*

Los valores de los coeficientes de seguridad, γ , se establecen en la tabla 4.1 para cada tipo de acción, atendiendo para comprobaciones de resistencia a si su efecto es desfavorable o favorable, considerada globalmente.

Los valores de los coeficientes de simultaneidad, ψ , se establecen en la tabla 4.2.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

considerando la actuación simultánea de:

- a) todas las acciones permanentes, en valor característico (G_k);*
- b) una acción variable cualquiera, en valor característico (Q_k), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis;*
- c) el resto de las acciones variables, en valor de combinación ($\psi_0 \cdot Q_k$).*

Como límite admisible en los Estados Límites de Servicio, primero hay que entender varios conceptos que en función de sus características, afectan más o menos a la aptitud de servicio del edificio. Estos conceptos hacen referencia a los diferentes tipos de flecha que podemos encontrar simultáneamente en una estructura bajo carga:

-Flecha diferida: es aquella producida a lo largo del tiempo debido a las cargas permanentes de larga duración (C_k).

-Flecha intánea: se produce deformación en la estructura de forma inmediata al aplicar cargas permanentes (G_k) y variables (Q_k).

-Flecha total a plazo infinito: es la suma de la flecha diferida y la flecha instantánea ($C_k + G_k + Q_k$).

-Flecha activa: es la flecha total menos la flecha que se ha producido hasta la construcción del elemento.

-Contraflecha: flecha impuesta al elemento estructural antes de entrar en carga, para contrarrestar el resultado de la flecha máxima.

El Código Técnico establece unos valores máximos para las flechas de los distintos elementos estructurales justo después de la puesta en obra del elemento estructural en cuestión, ante cualquier combinación de acción característica, en función de la configuración constructiva del edificio en general:

- a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
- b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- c) 1/300 en el resto de los casos.

El Código Técnico también establece unos límites de flecha para los desplazamientos horizontales que puedan surgir en los edificios ante cualquier combinación de acciones características:

- a) desplome total: 1/500 de la altura total del edificio;
- b) desplome local: 1/250 de la altura de la planta, en cualquiera de ellas.

Aun no siendo suficiente con las prescripciones que establece el Código Técnico de la Edificación en cuanto a el Estado Límite de Servicio, la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) también prescribe límites en cuanto a las flechas a considerar en las estructuras de hormigón armado en su art. 50º Estado Límite de Deformación:

50.1 CONSIDERACIONES GENERALES

Los valores máximos admisibles de las flechas dependen del tipo y función de la estructura, de las condiciones funcionales que deba satisfacer y de las condiciones que pueden imponer otros elementos no estructurales que se apoyan en ella. Por todo ello es difícil establecer unos valores límites generales y, por lo tanto, éstos deben definirse en cada caso según las características particulares conreespondientes. En edificios, las flechas máximas admisibles vienen establecidas por el Código Técnico de la Edificación.

En general, en edificaciones normales, a falta de exigencias más precisas que resulten en condiciones particulares, se pueden establecer como límites orientativos para la flecha total, en términos relativos a la longitud L del elemento que se comprueba, el menor de los valores $L/250$ y $L/500 + 1\text{ cm}$, y $L/400$ para la flecha activa.

En el caso de forjados unidireccionales, la flecha total a tiempo infinito no excederá al menos de los valores $L/250$ y $L/500 + 1\text{ cm}$; para forjados que sustentan tabiques o muros de partición o de cerramiento, la flecha activa no excederá al menor de los valores $L/500$ y $L/1000 + 0,5\text{ cm}$, siendo L la luz del vano y, en el caso de voladizo, 1,6 veces el vuelo.

50.2.2.1 Cantos mínimos

En vigas y losas de edificación, no será necesaria la comprobación de flechas cuando la relación luz/canto útil del elemento estudiado sea igual o inferior al valor indicado en la tabla 50.2.2.1. a Para vigas o losas aligeradas en T , en que la relación entre la anchura del ala y del alma sea superior a 3, las esbelteces L/d deben multiplicarse por 0,8.

Tabla 50.2.2.1.a
Relaciones L/d en vigas y losas de hormigón armado sometidos a flexión simple

Sistema estructural L/d	K	Elementos fuertemente armados: $\rho = 1,5\%$	Elementos débilmente armados $\rho = 0,5\%$
Viga simplemente apoyada. Losa uni o bidireccional simplemente apoyada	1,00	14	20
Viga continua ¹ en un extremo. Losa unidireccional continua ^{1,2} en un solo lado	1,30	18	26
Viga continua ¹ en ambos extremos. Losa unidireccional o bidireccional continua ^{1,2}	1,50	20	30
Recuadros exteriores y de esquina en losas sin vigas sobre apoyos aislados	1,15	16	23
Recuadros interiores en losas sin vigas sobre apoyos aislados	1,20	17	24
Voladizo	0,40	6	8

¹ Un extremo se considera continuo si el momento correspondiente es igual o superior al 85% del momento de empotramiento perfecto.

² En losas unidireccionales, las esbelteces dadas se refieren a la luz menor.

³ En losas sobre apoyos aislados (pilares), las esbelteces dadas se refieren a la luz mayor.

Dado que la luz del voladizo del caso de estudio es de 7,00 m y el canto del mismo es de 0,40 m, la relación luz/canto es:

$$L/h = 7,00 / 0,40 = 17,5 > 6$$

Por lo que la comprobación de flechas es necesaria.

Tras esta disposición, se exponen las distintas combinaciones referidas a cada uno de los estados límite:

-Estados Límite Últimos:

oELU1: Peso Propio + Grava + Uso $\cdot 1,50$ + Nieve $\cdot 0,50 \cdot 1,50$ + Viento $\cdot 1,50 \cdot 0,60$

oELU2: Peso Propio + Grava + Nieve $\cdot 1,50$ + Uso $\cdot 0,70 \cdot 1,50$ + Viento $\cdot 1,50 \cdot 0,60$

oELU3: Peso Propio + Grava + Viento $\cdot 1,50$ + Uso $\cdot 0,70 \cdot 1,50$ + Nieve $\cdot 0,50 \cdot 1,50^*$

-Estados Límite de Servicio:

oELS1: Peso Propio + Grava + Uso + Nieve $\cdot 0,50$ + Viento $\cdot 0,60$

oELS2: Peso propio + Grava + Nieve + Uso $\cdot 0,70$ + Viento $\cdot 0,60$

oELS3: Peso Propio + Grava + Viento + Uso $\cdot 0,70$ + Nieve $\cdot 0,50^*$

(*) Para las cargas de viento sólo se ha considerado la dirección coplanaria al gran hueco en fachada, ya que la vivienda se sitúa por delante de un acantilado, considerando insignificante la succión del viento para tal caso en dirección perpendicular.

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		⁽¹⁾	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

6. DIAGNÓSTICO.

Los resultados obtenidos en SAP2000 responden a las cargas introducidas y consideradas en el apartado anterior. Como consecuencia, se analizan y comentan a continuación los valores obtenidos de las distintas deformadas tras la entrada de cargas y de los esfuerzos a compresión, de los esfuerzos a tracción y de los momentos flectores, especialmente de aquellas láminas que actúan como soporte del edificio, ya que éstas deben sustentar las importantes cargas gravitatorias que el gran voladizo supone. También se analizan las tensiones internas generadas en las secciones de la estructura debidas a los esfuerzos anteriores.

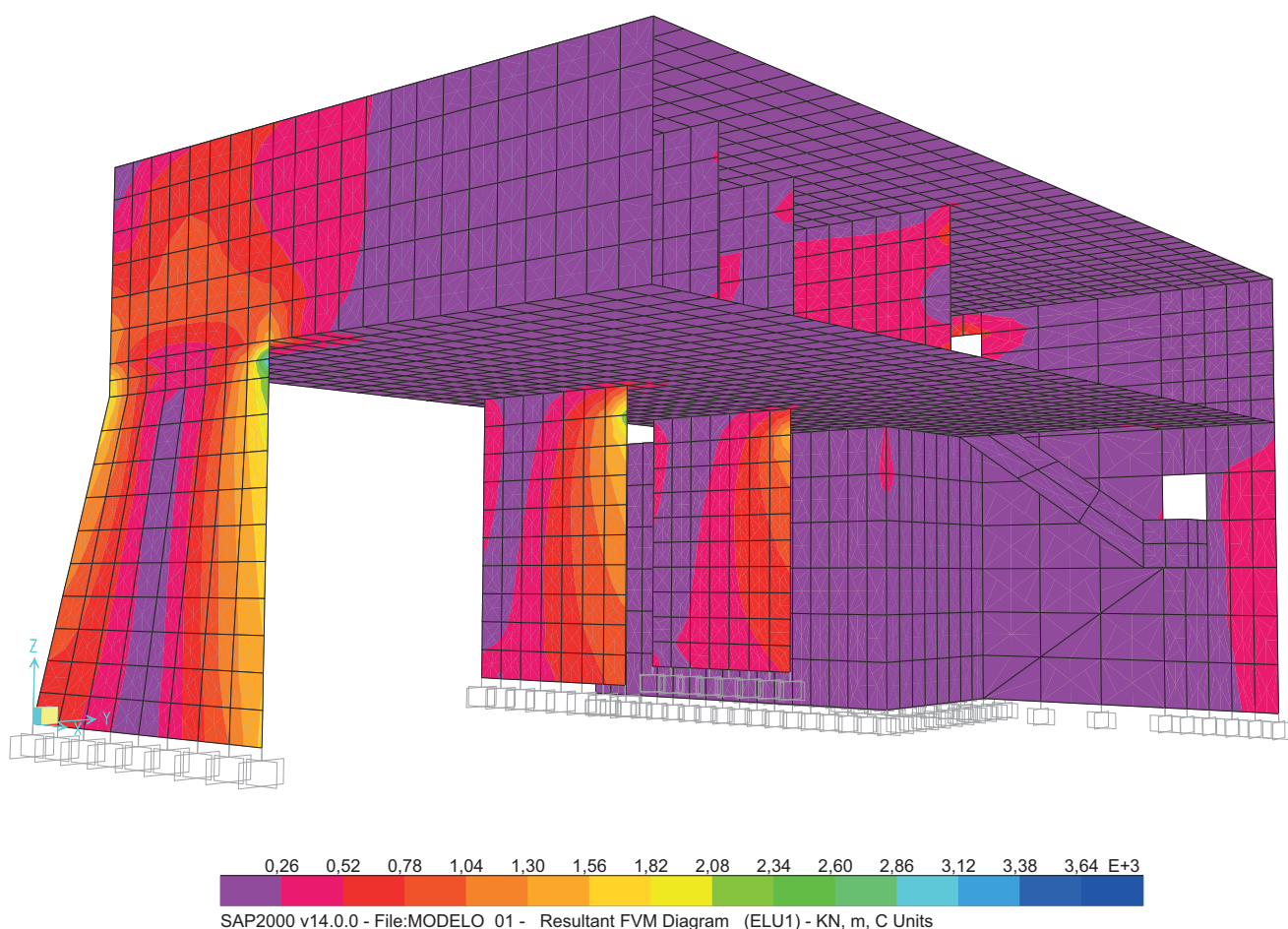
El análisis se estructura en dos apartados: Estados Límite Últimos y Estados Límite de Servicio. El primer apartado (ELU) pone el edificio a prueba frente a su capacidad portante, considerando los esfuerzos que actúan y cómo responde el material y la geometría antes las tensiones generadas. El segundo apartado (ELS) pone el edificio a prueba frente a su capacidad para dar servicio, por lo que se estudian los desplazamientos verticales y horizontales en los extremos del voladizo, así como las flechas en los forjados entre apoyos.

Se han obtenido tres análisis modales para cada uno de los apartados mencionados.

6.1. Estados Límite Últimos.

Para las combinaciones de ELU establecidas en el apartado 5.1.3. Combinaciones de cargas y estados límite se obtienen los siguientes resultados mediante el criterio de fallo de Von Mises en cuanto a esfuerzos y tensiones se refiere, atendiendo especialmente a aquellas láminas verticales portantes del voladizo.

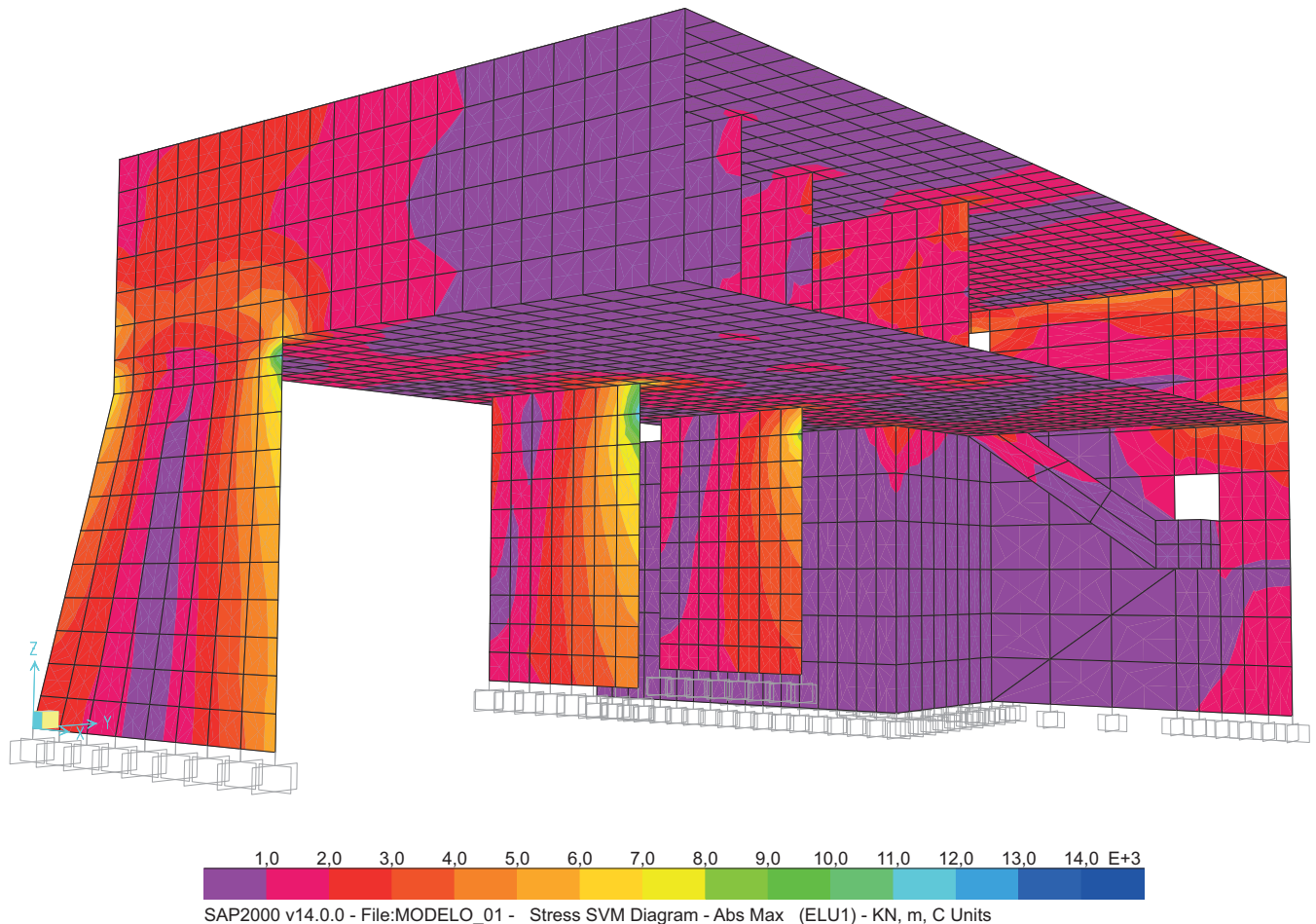
-Esfuerzos de Von Mises en Estado Límite Último. Análisis modal 1*:



*Los resultados de este diagrama resultan ser idénticos en el resto de modos, dada la rigidez de la estructura.

Los esfuerzos se concentran mayoritariamente a lo largo de la extensión de los elementos verticales portantes, debido en primer lugar al momento flector que genera el voladizo y en segundo lugar a la carga vertical que sustentan. No obstante, se pueden apreciar mayores valores para aquellas zonas donde los momentos actúan con mayor énfasis frente a aquellos puntos donde participan con mayor propiedad los esfuerzos a compresión debido al peso propio de la estructura y las cargas añadidas. Estos son los extremos laterales de las láminas portantes verticales frente a los extremos inferiores de las mismas.

-Tensiones de Von Mises en Estado Límite Último. Análisis modal 1*:



6.2. Estados Límite de Servicio.

Para las combinaciones de ELS establecidas en el apartado 5.1.3. *Combinaciones de cargas y estados límite* se obtienen los siguientes resultados en cuanto a desplazamientos verticales se refiere, atendiendo especialmente a aquellas láminas horizontales expresivas del voladizo, ya que, dada la configuración de la estructura, el desplazamiento horizontal es despreciable.

Para este apartado se considera el cumplimiento del CTE en DB: Seguridad Estructural, donde se especifican los límites de desplazamientos verticales que no deben superar las estructuras cual sea su material y lo establecido en la EHE-08, en su artículo 50º, descrito en el apartado comentado.

En este caso de estudio, se prestará atención a los límites establecidos por el CTE para estructuras en voladizo, siendo idénticos los resultados entre el Estado Límite de Servicio 1, 2 y 3.

*Los resultados de este diagrama resultan ser idénticos en el resto de modos, dada la rigidez de la estructura.

4.3.3 Deformaciones

4.3.3.1 Flechas

1 Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando sólo las deformaciones que se producen después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que:

- a) 1/500 en pisos con tabiques frágiles (como los de gran formato, rasillones, o placas) o pavimentos rígidos sin juntas;
- b) 1/400 en pisos con tabiques ordinarios o pavimentos rígidos con juntas;
- c) 1/300 en el resto de los casos.

2 Cuando se considere el confort de los usuarios, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones característica, considerando solamente las acciones de corta duración, la flecha relativa, es menor que 1/350.

3 Cuando se considere la apariencia de la obra, se admite que la estructura horizontal de un piso o cubierta es suficientemente rígida si, para cualquiera de sus piezas, ante cualquier combinación de acciones casi permanente, la flecha relativa es menor que 1/300. Documento Básico SE Seguridad Estructural SE.

4 Las condiciones anteriores deben verificarse entre dos puntos cualesquiera de la planta, tomando como luz el doble de la distancia entre ellos. En general, será suficiente realizar dicha comprobación en dos direcciones ortogonales.

5 En los casos en los que los elementos dañables (por ejemplo tabiques, pavimentos) reaccionan de manera sensible frente a las deformaciones (flechas o desplazamientos horizontales) de la estructura portante, además de la limitación de las deformaciones se adoptarán medidas constructivas apropiadas para evitar daños. Estas medidas resultan particularmente indicadas si dichos elementos tienen un comportamiento frágil.

Para este caso de estudio, dado que el hándicap trata de un voladizo, se tomará la condición de cumplimiento más restrictiva al producirse mayores flechas en los voladizos. Además, el diseño interior de la vivienda incluye un pavimento de mármol sin juntas, por lo que se trata de un elemento constructivo sensible frente a deformaciones. Por ello, la condición que debe cumplir el punto más acusado del voladizo, indicado en el gráfico, será la de aquella norma más restrictiva.

Según el Código Técnico de la Edificación:

Flecha Relativa = $2L/500$ lo que determina un valor de $2 \cdot 7,00/500 = 0,028 \text{ m} = 28 \text{ mm.}^{(*)}$

Según la Instrucción de Hormigón Estructural:

Flecha total:

$$L \cdot 1,6/250 = 7,00 \cdot 1,6/250 = 0,044 \text{ m} = 44 \text{ mm}$$

$$L \cdot 1,6/500 + 0,01 = 0,032 \text{ m} = 32 \text{ mm}$$

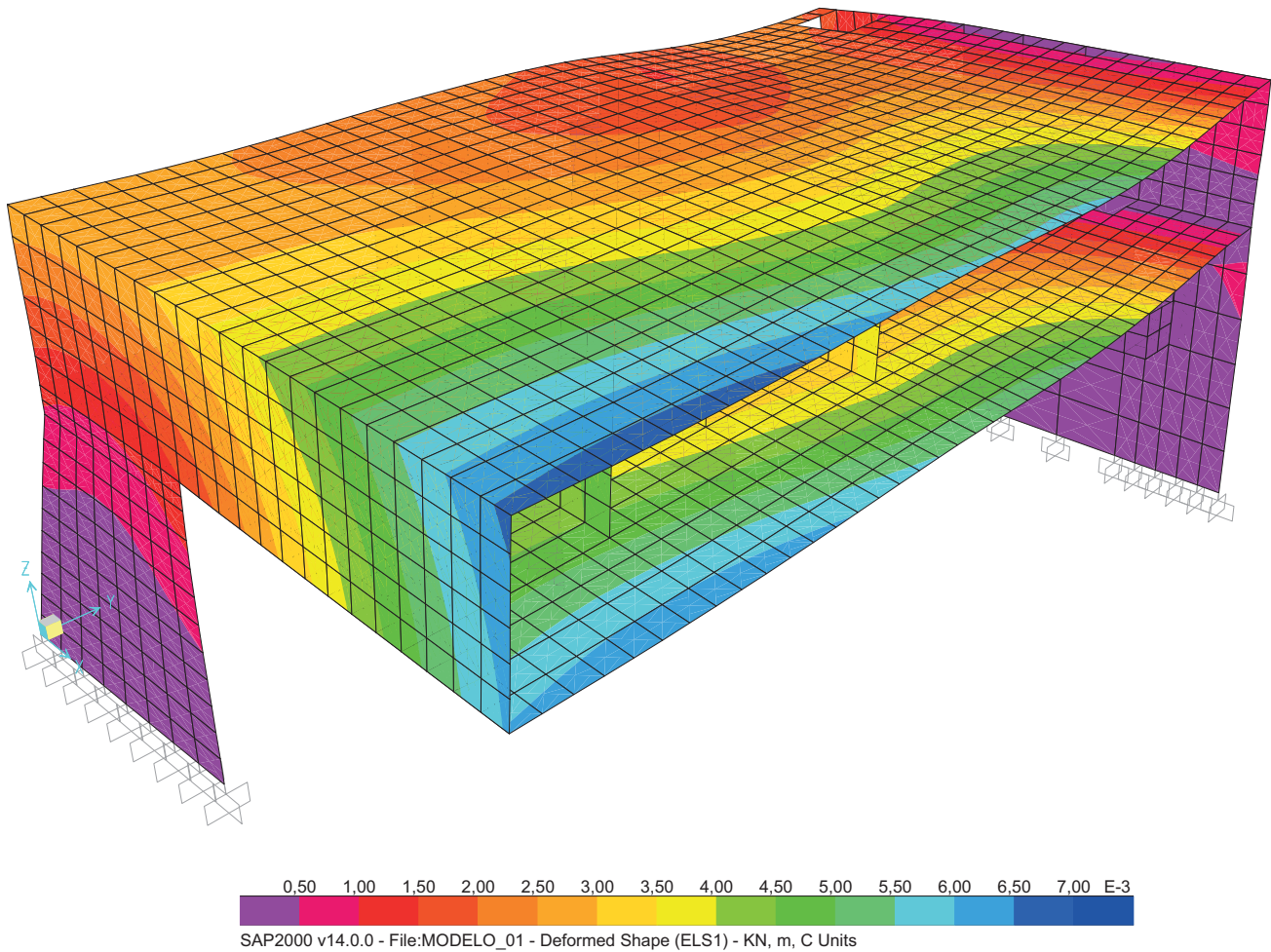
Flecha activa:

$$L \cdot 1,6/400 = 0,028 \text{ m} = 28 \text{ mm}$$

De los cálculos anteriores, obtenemos que la flecha total (diferida + instantánea) no podrá superar el valor de 32 mm, que la flecha activa no podrá ser superior a los 28 mm y que la flecha relativa (instantánea) no podrá ser mayor de 28 mm. A tales efectos, la flecha diferida no podrá superar los 4 mm. Los resultados obtenidos en SAP2000 muestran la flecha instantánea, siendo:

*La flecha relativa que establece el CTE se define como flecha instantánea.

-Deformaciones verticales en eje U. Análisis modal 1*:



Como indica el gráfico y la escala adjuntos, la flecha instantánea, que es la que muestra SAP2000, es de 7 mm en el extremo más alejado de cualquier soporte, por lo que cumple favorablemente los límites establecidos por el Código Técnico de la Edificación y supone estar lejos de superar los valores del resto de flechas prescritos por la Instrucción de Hormigón Estructural. Podríamos decir que la configuración de la estructura, su geometría y su concepto son bastante favorables ante las cargas consideradas. No obstante, hay que recordar que se ha despreciado una carga horizontal de viento en la dirección paralela al voladizo y no se han considerado, dada la complejidad, acciones sísmicas. Estos nuevos parámetros, considerados simultáneamente, darían como resultados valores menos deseables, pero probablemente con margen antes de convertirse en desfavorables.

*Los resultados de este diagrama resultan ser idénticos en el resto de modos, dada la rigidez de la estructura.

7. CONCLUSIONES.

7.1. Introducción

Para culminar este trabajo de investigación, se expone a continuación una crítica resumida al acerca del empleo de estructuras laminares de hormigón armado como método alternativo a la resolución de estructuras de grandes luces y expresivo ante la arquitectura contemporánea.

Por un lado, se comenta la idoneidad técnica de estas estructuras como sistema portante para espacios que requieren grandes luces. Por otro lado, se valora la expresividad que estas estructuras confieren a la arquitectura. Ambos temas aunados en un mismo sistema lleno de inagotables posibilidades formales y de extraordinaria eficacia.

7.2. Entre la expresión y la función

Desde tiempos remotos, las estructuras laminares, fundamentalmente de ladrillo o de superficies discontinuas mediante piezas modulares manufacturadas, han sido sistemas arquitectónicos que representaban una imagen de poder y superioridad para las altas clases sociales, tales como los altos cargos religiosos, reales y gubernamentales de las ciudades. Estas estructuras se agrupaban mayoritariamente en cúpulas y bóvedas, con diversas variaciones formales entre ellas.

Sin embargo, en otras culturas, emplearon las mismas técnicas para construir sus hogares y protegerse del exterior, como son el caso de los iglús de los esquimales. Ambas civilizaciones ya entendían la lógica estructural de este sistema, así como la representación que suponía ante la expectación de los habitantes.

No obstante, si nos alejamos de la historia nos alejamos de las estructuras laminares también -a pesar de surgir un período importante evolución en la geometría y en las técnicas constructivas-, producto del olvido en el que hemos caído de que estas estructuras satisfacen por sí solas las necesidades funcionales y expresan el desarrollo artístico e ideológico de una civilización. Ante ello cabe aunar el ánimo por recuperar la energía investigadora y dar un segundo paso en este maravilloso campo desaprovechado, el cual, por encima de la técnica, produce una gran emoción ante los ojos de cualquier espectador que aprecie sus cualidades plásticas.

7.3. Entre la masa y la fuerza

Los ejemplos expuestos al inicio de este trabajo, cuyas obras son reconocidas por su prestigiosa autoría y por su inequívoca identidad, muestran la admirable técnica de sustentación empleando prácticamente la lógica geométrica, convirtiendo un plano a priori vulnerable en el elemento más firme frente a esfuerzos. Esto genera una sinergia entre la masa de hormigón empleada y las fuerzas que actúan en la estructura, dando excelentes resultados de estabilidad y flexión, mientras que otras estructuras más robustas necesitan mayores masas de hormigón armado y aun así su funcionamiento aun se pone en crisis.

Hoy en día se dispone de tecnologías que hace apenas 20 años era inalcanzables, tales como la simulación de estructuras y la fabricación digital con técnicas numéricas de parametrización mediante sistemas informáticos accesibles a cualquier usuario interesado. Pues si Eduardo Torroja, hace más de 80 años, fue capaz de llevar las estructuras al límite con medios manuales, a día de hoy podemos revolucionar el concepto de gravedad en arquitectura si se mantuviera una conciencia social de esta metodología de diseño estructural mediante láminas, en unos tiempos que, dada la crisis ambiental, se pretende concienciar a la sociedad sobre el ahorro del consumo energético global del cual derivan el ahorro de fabricación material, el ahorro económico y el ahorro del consumo de tiempo.

Estas estructuras, de relativamente delgados espesores y grandes luces, son una apuesta para llevar a cabo estos temas que, como técnicos, nos comprometen estrechamente con la sociedad.

Los resultados obtenidos del caso de estudio, cuyo objetivo ha sido acercarnos al funcionamiento

y la aventajada utilidad de estas estructuras, han servido como prueba de ello y se manifiestan como un reclamo a los técnicos en general a emplear este sistema como un sistema más, especialmente para estructuras de grandes luces, como alternativa a los sistemas de grandes cantos laigerados, aprovechando los conocimientos que los maestros pioneros de estas técnicas han dejado en un legado meramente bibliográfico para emplearlos nuevamente con las tecnologías actuales.

Ya nadie construye láminas. Los arquitectos e ingenieros históricos han desaparecido o tienen pequeñas oficinas en que fundamentalmente desarrollan otro tipo de proyectos. Se fueron Torroja, Nervi y Candela y quedan pocos como Isler, Medwakosky o Niemeyer. Nunca hubo tantos métodos de cálculo a mano como ahora y nunca las técnicas constructivas fueron tan perfectas. Tampoco hubo nunca tantas oportunidades para construir estructuras laminares sin tener que demostrar que eran más económicas. (Escrig, 1999, página 1).

BIBLIOGRAFÍA.

CQ. (12 de mayo de 2015). Stockwell Bus Garage. Accedido en abril de 2018. Tectónica Blog. Recuperado de: <http://tectonicablog.com/?p=91012>

Wikiarquitectura. (S/F). Ópera de Sydney. Accedido en abril de 2018. Wikiarquitectura. Recuperado de: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/opera-de-sydney/>

Prados, M. (30 de marzo de 2016). Interiores Minimalistas. La vivienda soñada por Fran Silvestre Arquitectos. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <http://interioresminimalistas.com/2016/03/30/la-vivienda-sonada-por-fran-silvestre-arquitectos/>

Plataforma Arquitectura. (20 de noviembre de 2012). Casa en un acantilado / Fran Silvestre Arquitectos. Plataforma Arquitectura. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-209400/casa-en-un-acantilado-fran-silvestre-arquitecto>

Solís, A. (25 de julio de 2013). Casa en un acantilado por Fran Silvestre. Metalocus. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <https://www.metalocus.es/es/noticias/casa-en-un-acantilado-por-fran-silvestre-arquitectos>

Gallardo, D. (2012). Casa del acantilado en Calpe. Estructuras Singulares. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <http://www.estructurassingulares.com/proyectos/casa-del-acantilado/>

The plan. (2015). House of the Cliff Fran Silvestre Arquitectos. The Plan. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <https://www.theplan.it/award/2015/villa/house-of-the-cliff>

Sate Vipal (S/F). Casa del acantilado, Calpe. Sate-vipal. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <https://sate-vipal.com/calpe-casa-en-el-acantilado?limitstart=0>

Silvestre, F. (S/F). Casa del Acantilado, Calpe, Alicante. Fran Silvestre Arquitectos. Accedido en abril de 2018. Recuperado de: <http://fransilvestrearquitectos.com/projects/casa-del-acantilado/>

Silvestre, F. (S/F). Casa Balint, Bétera, Valencia. Fran Silvestre Arquitectos. Accedido en abril de 2018. Recuperado de: <http://fransilvestrearquitectos.com/projects/casa-del-acantilado/>

Vendrell, S., Ortiz, M. (27 de abril de 2010). Casa en un acantilado. El desnivel según Fran Silvestre Navarro. Editorial Pencil. Accedido en junio de 2018. Recuperado de: <http://www.editorialpencil.es/wordpress/?p=2277>

Architonic. (S/F). Casa del acantilado. Architonic. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <https://www.architonic.com/es/project/fran-silvestre-arquitectos-casa-del-acantilado/5102062>

My Fancy House. (S/F). House on the Cliff by Fran Silvestre Arquitectos. My Fancy House. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <https://myfancyhouse.com/2012/12/03/contemporary-house-on-the-cliff-by-fran-silvestre-arquitectos/>

Álvarez, A. (18 de enero de 2013). La casa del acantilado de Fran Silvestre Arquitectos. Diario Design. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <http://diariodesign.com/2013/01/la-casa-del-acantilado-de-fran-silvestre-arquitectos/>

Ministerio de Fomento. (2006). Código Técnico de la Edificación. Documento Básico Seguridad Estructural. Accedido en junio de 2018. Recuperado de: <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-seguridad-estructural.html>

Comisión Permanente del Hormigón. (2011). Instrucción de Hormigón Estructural. EHE 08. Madrid, España. Ministerio de Fomento.

Escrig, F., López, R., Béjar M., Sánchez, J. Cubiertas laminares. STAR Structures in Architecture, N°4. TC Cuadernos, (2017), Escenarios para la vida. Valencia, España. General Ediciones de Arquitectura.

TC Cuadernos, (2017), Escenarios para la vida. Valencia, España. General Ediciones de Arquitectura.

Peñalver, A. (28 de enero de 2015). Casa balint de Fran Silvestre Arquitectos. Accedido en junio de 2018. Experimenta. Recuperado de: <https://www.experimenta.es/noticias/arquitectura/casa-balint-de-fran-silvestre-arquitectos-4879/>

Archinect. (S/F). Casa sobre el paisaje. Accedido en junio de 2018. Archinect. Recuperado de: <https://archinect.com/gallardo-llopis/project/casa-sobre-el-paisaje>

Gallardo. (S/F). Casa sobre el paisaje. Accedido en abril de 2018. Gallardo Llopis. Recuperado de: <http://www.gallardo-llopis.com/proyectos/casa-sobre-el-paisaje/>

Patiño, A. (27 de octubre de 2016). Clásicos de Arquitectura: Hipódromo de la Zarzuela / Carlos Arniches + Martín Domínguez + Eduardo Torroja. Accedido en mayo de 2018. Plataforma Arquitectura. Recuperado de: <https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/797811/clasicos-de-arquitectura-hipodromo-de-la-zarzuela-carlos-arniches-molto-plus-martin-dominguez-plus-eduardo-torroja>

Wikiarquitectura. (S/F). Hipódromo de la Zarzuela. Accedido en mayo de 2018. Plataforma Arquitectura. Recuperado de: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/hipodromo-de-la-zarzuela/>

Wikiarquitectura. (S/F). Planta embotelladora de Bacardí. Accedido en mayo de 2018. Wikiarquitectura. Recuperado de: <https://es.wikiarquitectura.com/edificio/planta-embotelladora-de-bacardi/>

Diseño y Arquitectura. (2011). Planta embotelladora de Bacardí de Félix Candela. Accedido en mayo de 2018. Diseño y Arquitectura. Recuperado de: <https://www.disenoyarquitectura.net/2011/01/planta-de-embotellado-bacardi-de-felix.html>

Engineering-timelines. (S/F). Stockwell Bus Garage. Engineering-timelines. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: <http://www.engineering-timelines.com/scripts/engineeringItem.asp?id=462>

Robert, W. (S/F). Lambert Field. Landmarks. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: https://www.landmarks-stl.org/architecture/lambert_field/

Architectmagazine. (5 de noviembre de 2015). Lambert - St. Louis International Airport Terminal 1 Renovation. Architect Magazine. Accedido en mayo de 2018. Recuperado de: Lambert - St. Louis International Airport Terminal 1 Renovation

ANEXOS

JUSTIFICACIÓN DE LA CIMENTACIÓN

2.1 Tipología adoptada y modelización

Tal y como ya se ha comentado, la estructura que se proyecta presenta dos zonas diferentes (en cuanto a funcionalidad y también en cuanto a condiciones estructurales), pero se resuelven en un conjunto unitario y monolítico (gracias a que todos los elementos son de hormigón armado y se ejecutan sin juntas entre ellos) de forma que el comportamiento global permita la colaboración entre ambas partes. Esto es cierto no sólo para la estructura sino también para la cimentación, ya que en este proyecto la cimentación y la estructura funcionan conjuntamente con el terreno para configurar un todo, que es lo que se ha analizado.

Así pues, la cimentación que se proyecta consiste en zapatas corridas bajo los muros y zapatas rectangulares aisladas bajo las tres pantallas (sólo, ejes 01, 03 y 05), que son las que soportan el cuerpo suspendido de la vivienda. Todos los elementos de cimentación quedan enlazados entre sí, incluso aunque no apoyen a la misma cota del terreno e incluso aunque formen parte de elementos estructurales diferentes. Es decir, se pretende que todo el conjunto estructura-cimentación colabore conjuntamente en la adecuada transmisión de las cargas hasta el terreno, aprovechándose así la colaboración de las distintas partes entre sí. De esta forma, por ejemplo, hasta el vaso de la piscina se convierte en losa de cimentación, no sólo de la piscina, sino también del muro del eje 07, en su extremo sur.

Esta forma de diseñar y proyectar la cimentación en conjunto con la estructura para considerar la respuesta conjunta de ambas, y el propio efecto del terreno en ellas, se ha podido apoyar y justificar mediante el empleo de un programa informático (**ver apartado 5**) de cálculo de estructuras adecuado a tales intenciones. El programa permite 6 grados de libertad por nudo (análisis tridimensional completo sin simplificaciones) y permite la asignación de apoyos en forma de muelles, de forma que se puede modelizar el terreno según el modelo de Winkler (muelles de rigidez K en función del coeficiente de balasto).

En este proyecto es fundamental analizar el efecto conjunto de estructura, cimentación y terreno, para poder comprobar que el cuerpo de la vivienda, suspendido en voladizo no experimenta deformaciones imprevistas por modelos simplificados. No se puede considerar el terreno como un simple empotramiento, ya que éste, bajo el efecto de las cargas transmitidas por la estructura a través de la cimentación sufre un determinado conjunto de movimientos que redistribuyen los esfuerzos en la propia cimentación y estructura y llevan a un resultado final completamente distinto. La validez del análisis en este caso de una estructura tan singular depende completamente de la rigurosidad del modelo de análisis.

En consecuencia, el modelo de análisis empleado para la cimentación es un modelo que incluye el efecto del terreno mediante la hipótesis o modelo de Winkler de muelles aplicados a un emparrillado de barras. Pero, como ya se ha indicado, el comportamiento real no sólo depende del terreno y de la cimentación, sino también de la propia estructura, ya que ésta y la cimentación forman un todo unitario, en el que ya no es posible diferenciar o separar una de la otra. Es por ello, que el análisis realizado incluye el terreno, la cimentación y la estructura simultáneamente, de forma que el diseño y el proyecto resultantes es fruto de un estudio conjunto de todos los factores implicados.

Como criterio de unificación, dado que la cota de apoyo de las zapatas viene impuesta por la compleja orografía del terreno, se ha proyectado que todas las zapatas cuenten con 70cm de canto, excepto la zapata de la pantalla tipo A (eje 01), que es la zapata del pescante, que por la necesidad de quedar anclada a la roca, debe aumentar su canto a 100cm en una parte, y a 200cm en la parte de los anclajes. Todas las zapatas se apoyarán sobre 10cm de hormigón de limpieza.

La cimentación del muro de bloque del eje horizontal D se resuelve también con una zapata de canto 70cm como consecuencia de partir de su enlace con las zapatas de las pantallas de los ejes 03 y 05, pero al recorrer longitudinalmente todo el cuerpo correspondiente a la vivienda, se enlaza al resto de estructura a cotas diferentes de la cimentación en el eje 01 y en el eje 07. Se proyecta una unión rígida de todos estos elementos.

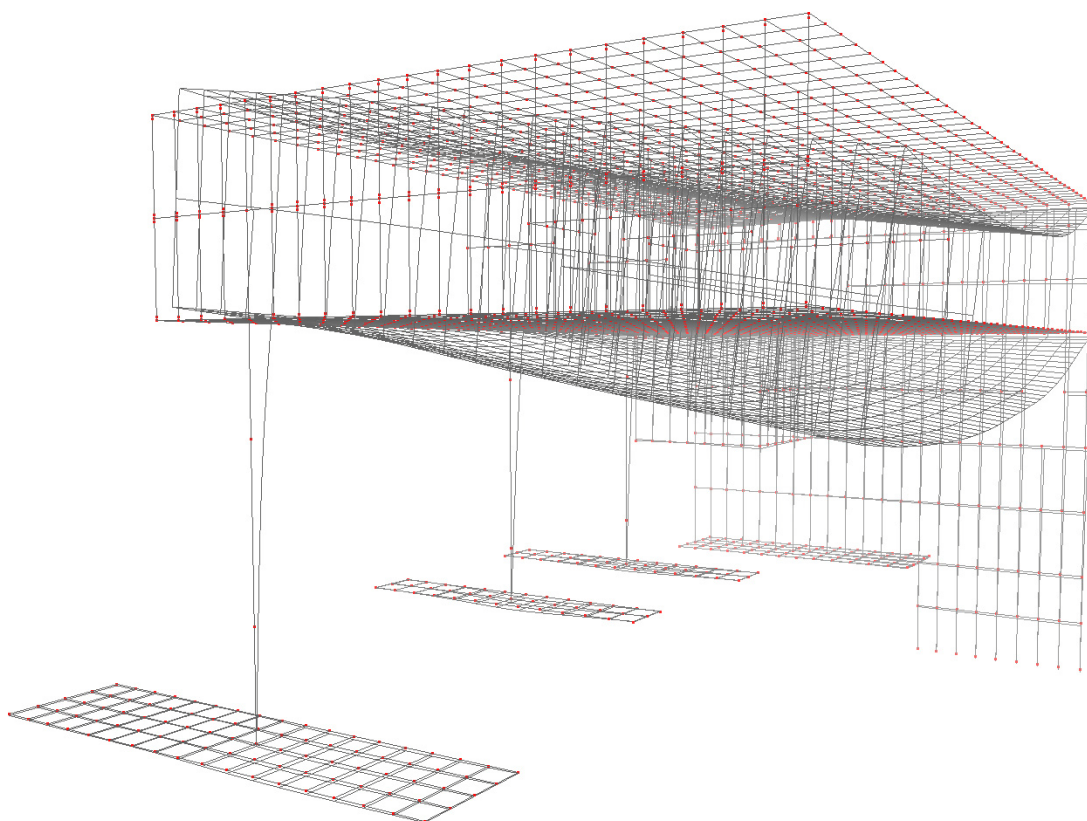
2.2 Propiedades estimadas

Para la determinación del coeficiente de balasto se ha recurrido a la bibliografía usual, y teniendo en cuenta la densidad de la roca, su resistencia a compresión y la clasificación indicada por el informe geotécnico, se ha estimado que el coeficiente de balasto (placa 30x30) deberá ser un valor entre 100kp/cm^3 y 500kp/cm^3 . Se ha adoptado un valor intermedio de 300kp/cm^3 , lo que provoca un valor de constante de muelle K (malla de nudos de $50\text{cm} \times 50\text{cm}$) entre 18000t/m y 33000t/m , dependiendo del elemento de cimentación considerado, en función de la proporción entre sus lados. Se ha optado por un valor promedio de $K=20000\text{t/m}$ para la constante de muelle de los nudos de cimentación.

Por otro lado, al tratarse de un terreno rocoso, es muy probable que se pueda conseguir un corte con talud vertical natural, lo que parece indicar la inexistencia de empujes sobre los muros de contención. Aunque esto puede llegar a ser cierto, los muros de este proyecto que contiene tierras se han calculado para un coeficiente de empuje activo de $\lambda_a=0.1$ y un coeficiente de empuje al reposo de $\lambda_o=0.15$. Si durante la ejecución de las excavaciones se advirtiesen problemas en la estabilidad de los taludes, o cambios importantes en las distintas capas que se van atravesando, estas suposiciones deberán ser revisadas, y en su caso, se deberán modificar las soluciones de cimentación relativas a los muros de contención y de sótano.

Teniendo en cuenta todo lo indicado, se procede a la modelización completa del conjunto terreno, cimentación y estructura. La deformación conjunta global nos permite conocer con precisión el efecto simultáneo de todos los factores, y así poder dar por

válida la solución diseñada y proyectada. A partir de los movimientos verticales de los nudos de la cimentación, y a través de su constante de muelle K, se puede conocer el nivel de presiones en cada punto de la cimentación. De esta forma se ha podido comprobar que en ningún punto se superan los 6kp/cm^2 especificados en el informe geotécnico, como nivel de presiones admisibles.



En la figura previa se puede ver cómo la configuración deformada global de la estructura y la cimentación (amplificada por un factor de 100) responde del efecto conjunto (interacción) suelo-cimentación. En las zapatas se puede apreciar los movimientos verticales de los nudos como consecuencia de las presiones verticales ejercidas por la estructura y soportadas por la rigidez de los muelles que simulan el efecto del terreno de apoyo. (Obviamente, la rigidez de los muelles tan sólo puede ser tomada en cuenta en los puntos en los que el movimiento es vertical descendente, porque en aquellos en los que el movimiento es ascendente, la zapata se despegaría del terreno y el muelle no puede retenerla.)

De forma simultánea, se ha realizado un análisis más convencional de la parte principal de la cimentación, es decir, la correspondiente a las zapatas rectangulares de las tres pantallas que soportan el cuerpo volado de la vivienda. El análisis convencional consiste en estudiar los esfuerzos que recibe la cimentación desde la estructura aérea (considerando que los cimientos actúan como empotramientos) y diseñar y proyectar las zapatas de tal forma que soporten estos esfuerzos y los transmitan al terreno con la suficiente seguridad frente al hundimiento, al vuelco y al deslizamiento.

La zapata de la pantalla tipo A en el eje 01 resulta la más solicitada a flexión (vuelco) por el efecto del pescante del gran voladizo (680cm), pero las zapatas de las pantallas tipo B también deben transmitir al terreno un momento de vuelco considerable. En el primer caso, para asegurar la estabilidad al vuelco de acuerdo a este análisis más convencional, resulta precisa la intervención de los anclajes al terreno en la parte posterior, mientras que en el segundo caso, no llega a ser necesaria la introducción de anclajes de tracción.

2.3 Anclajes de tracción al macizo rocoso

Los resultados de dicho análisis llevan a la conclusión de que son necesarios anclajes a tracción en la zapata tipo 1 (eje 01) con una capacidad de tracción de al menos 200t. Esto se traduce finalmente en cuatro anclajes, cada uno de 200mm de diámetro con cuatro redondos corrugados Ø20 de acero B500SD, a una profundidad de 600cm por debajo de la cara inferior de la zapata y con una raíz que profundiza otros 150cm. Esto supone 218.56t de tracción en total (54.64t por anclaje). Se ha comprobado que el cono invertido de terreno (ángulo 45°) desde el inicio de la raíz presente un mayor peso propio que la suma de las cuatro tracciones de los anclajes.

Con la colaboración de los anclajes se consigue un coeficiente de seguridad al vuelco de 2.80, al deslizamiento mayor de 3.00 y una presión máxima de 4.42kg/cm², lo que justifica la solución final adoptada. En relación a esta zapata tipo 1, se produce la necesidad de duplicar el canto en la zona de los anclajes para poder soportar de forma adecuada los esfuerzos de flexión inducidos en la zapata. Todo esto se puede estudiar con detalle en los planos del proyecto de ejecución.

Las zapatas correspondientes a las pantallas tipo B (ejes 03 y 05) presentan grandes esfuerzos de flexión, pero, obviamente, de una magnitud muy inferior a los de la zapata tipo 1 del eje 01. No resulta necesario el uso de anclajes de tracción, y se obtiene coeficientes de seguridad al vuelco mayores de 3.56, al deslizamiento mayores 1.89, y una presión máxima de 5.15kp/cm², siendo todos estos valores admisibles y por lo tanto dándose por válida la solución propuesta de cimentación.

2.4 Armaduras y recubrimientos

Toda la armadura principal de la cimentación consiste en redondos de Ø12, Ø16 y Ø20, tal y como se indica en los planos correspondientes. Se ha procurado que las separaciones entre barras sean todas de 20cm (salvo las zapatas más solicitadas, en las que la separación será de 15cm), para mejorar el empalme por solape de mallas de distintas piezas. La diferencia entre los diámetros empleados en cada situación facilita en gran medida la revisión en obra del ferrallado.

Se debe indicar que todas las zapatas llevan una capa de armado inferior y otra superior, pudiendo ser ésta en ocasiones una armadura mínima.

El recubrimiento mecánico (eje de la barra) en las zapatas y muros será de 7cm con respecto a las caras en contacto con el terreno, y de 5cm en el resto de casos. Las zapatas cuentan con una capa base de 10cm de hormigón de limpieza que permite la disposición de los separadores adecuados para poder asegurar dicho recubrimiento.

2.4 Materiales

Para todos los elementos de cimentación el hormigón empleado es el mismo de la estructura aérea (se recuerda el criterio de unidad y monolitismo que se ha buscado en este proyecto) HA-35 (fck=35N/mm²), en concreto: HA-35/B/40/IV, dada la proximidad de la estructura a la línea costera.

El hormigón de limpieza será al menos HM-20 (fck=20N/mm²). Para más especificaciones véase el cajetín en planos de estructura.

La armadura de las zapatas y muros será del tipo B500SD, al igual que la de los anclajes. La armadura de la solera será de malla electrosoldada B500T.

JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

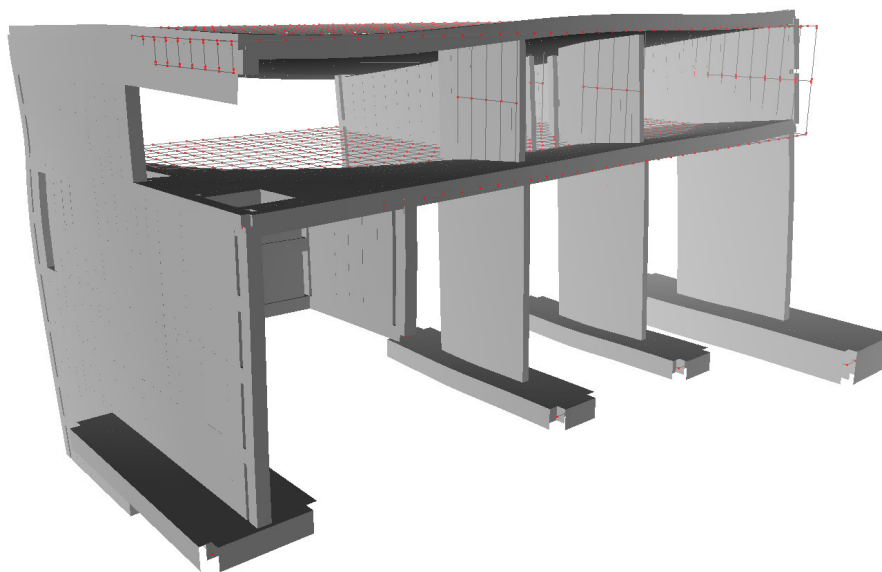
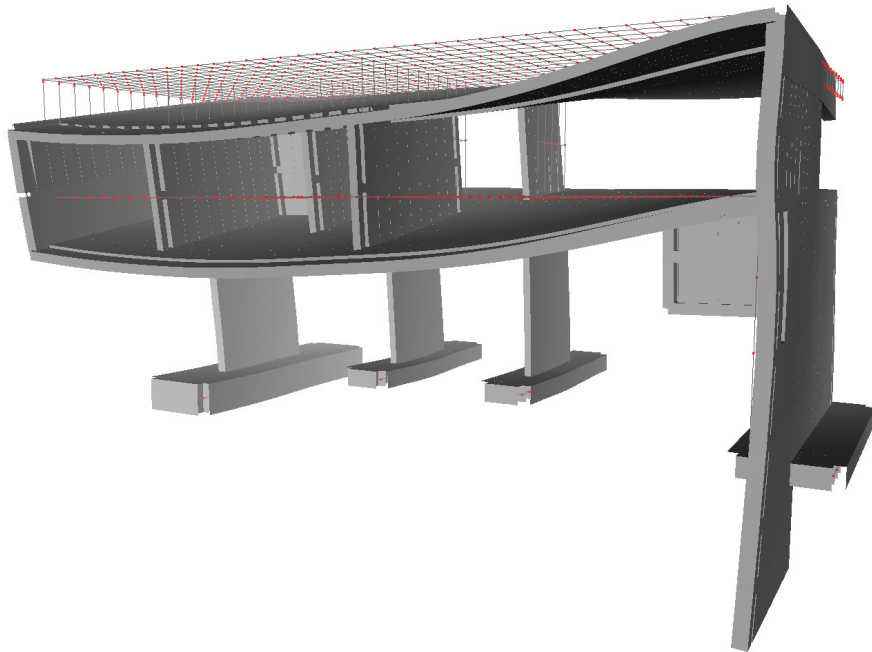
3.1 Vivienda suspendida en voladizo

Como ya se ha comentado previamente, el reto estructural que supone este proyecto consiste en resolver la idea de que el piso de vivienda no apoye sobre el terreno de la forma usual (pilares), sino que quede suspendido a modo de voladizo, y sujeto desde la parte posterior, por medio de una serie de pantallas. Tanto la cimentación (ver apartado 2) como la estructura responden a ese reto de forma conjunta y unitaria, ya que todo el proyecto de la estructura se resuelve mediante elementos macizos de hormigón armado (muros, pantallas, losas, etc.) que proporcionan el grado de monolitismo buscado, de forma que todos los elementos colaboran en mayor o menor grado a resolver el reto estructural del voladizo.

Esta visión unitaria o conjunta ha implicado la necesidad de modelizar toda la estructura de forma global y sin simplificaciones, para lo que se ha empleado un programa de cálculo adecuado. Esto ha permitido resolver la estructura de forma rigurosa, sin simplificaciones y de forma tridimensional.

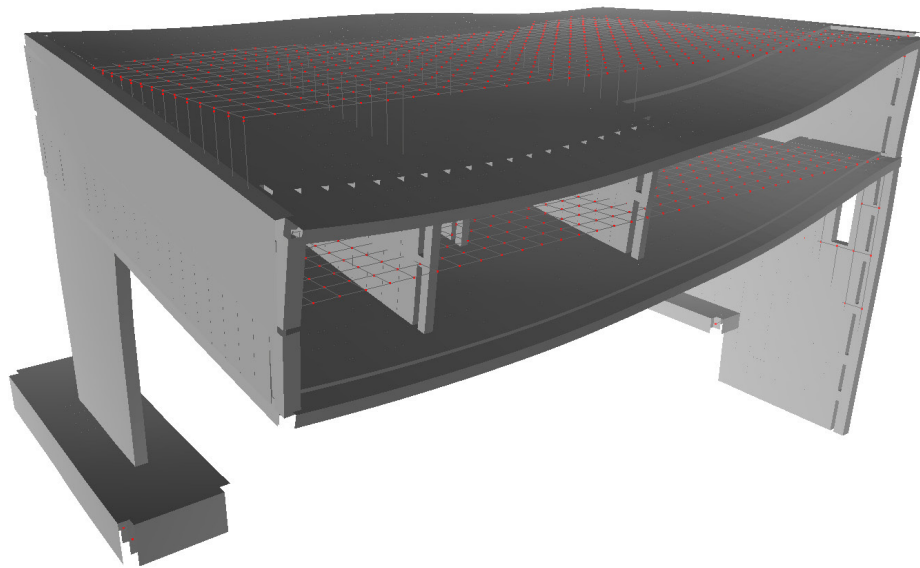
De forma simplificada, la vivienda consiste en una planta rectangular de 10.80m de ancho y 18.60m de largo, que se apoya en su extremo derecho (este) en un muro de carga de 30cm de espesor (eje 07), y en su extremo izquierdo (oeste) en un pescante (eje 01) que con una pantalla vertical (pantalla tipo A) de 400cm de ancho (30cm de espesor) y una viga pared (30cmx360cm) permiten dejar la esquina suroeste en voladizo (6.80m de vuelo en el eje 01 del pescante). Desde el eje 01 al eje 07 se deben cubrir 18.30m tanto en planta de piso como en cubierta. Una visión simplificadora podría suponer que el pescante y el muro actúan como únicos puntos de transmisión de carga y que los forjados deben cubrir los 18.30m, pero esto provocaría unos cantos de forjado desorbitados y una solución estructural inviable. Es por ello, que resulta necesaria una visión tridimensional conjunta, que tenga en cuenta el efecto de las pantallas (pantallas tipo B) traseras más pequeñas (ejes 03 y 05), y el efecto de rigidización de las pantallas (pantallas tipo C) o costillas de conexión entre el forjado de

piso y el de cubierta (ejes 02, 04 y 06). Sin la ayuda de la modelización tridimensional rigurosa, no habría sido posible estimar de forma clara la colaboración relativa de cada uno de estos elementos.



En estas imágenes se puede apreciar el efecto conjunto de todos los elementos estructurales en la respuesta estructural frente a los esfuerzos derivados de soportar el cuerpo de la vivienda prácticamente en voladizo desde la parte posterior.

Sólo se muestra la parte de la estructura correspondiente a los elementos implicados en la resistencia del cuerpo volado de la vivienda. Las imágenes muestran la configuración deformada amplificada en un factor de 100, con el objeto de poder reconocer de forma visual los puntos conflictivos de la deformación. Las imágenes permiten advertir la malla rectangular (de paso 50cm) empleada para la modelización de la estructura tridimensional.



A continuación se añaden ciertas explicaciones particulares de cada elemento en cuestión, pero se recuerda que el efecto de la colaboración simultánea de todos los elementos implicados es lo que ha permitido resolver el problema estructural del cuerpo volado de la vivienda.

3.1.1 Pescante eje 01: Pantalla tipo A y viga pared

Este es posiblemente el elemento estructural más importante. De su rigidez depende el buen comportamiento de todo el cuerpo suspendido en voladizo, y a la vez, es el elemento que configura en mayor medida la imagen arquitectónica desde la esquina sudoeste inferior de la parcela. Es por ello, que la dimensión de la pantalla viene limitada por cuestiones arquitectónicas a 400cm de largo y 30cm de espesor, dejando un vuelo de 680cm a resolver con una viga pared que conecta los dos forjados de piso y cubierta.

La rigidez de la pantalla vertical del pescante es fundamental para minimizar el giro del nudo principal del pescante, y así reducir la flecha del extremo del voladizo. Es por ello, que se proyecta una pantalla de longitud variable, creciente de los 400cm en la parte superior, hasta los 650cm en la parte inferior, siendo el crecimiento siempre hacia la parte posterior enterrada en la montaña, es decir, sin mostrarse hacia la fachada de la vivienda. Este crecimiento hacia la parte posterior asegura además un mejor comportamiento de la zapata tipo 1 con los anclajes, al rigidizar en gran medida dicho elemento, a la vez que permite una mejor transmisión de la tracción de los anclajes desde la zapata hasta la pantalla (diagonal de tracciones). Por último, este crecimiento también mejora el comportamiento de la pantalla, al dotarla de mayor rigidez en la base (más momento de inercia) y de provocar un desplazamiento de la resultante de cargas hacia la parte posterior. Todos estos efectos son muy positivos, por lo que se ha optado por la solución de proyecto que se puede ver en los planos.

La viga pared tiene sus dimensiones definidas por cuestiones arquitectónicas. Su ancho es de 30cm, y su canto es el correspondiente a la altura entre plantas, más los espesores de los forjados y el peto de cubierta (total, 360cm). La viga pared debe contar con la capacidad portante necesaria para resistir el momento de flexión y el cortante del voladizo, pero a la vez proporcionar la rigidez suficiente para provocar la mínima deformación adicional a la propia del giro del pescante (giro de la cabeza de la

pantalla tipo A). Todo ello se puede conseguir con las dimensiones indicadas, pero debiendo ser especialmente atentos al detalle de armado que se indica en los planos.

El comportamiento del pescante no puede entenderse de forma independiente al del resto de elementos de la zona de la vivienda, porque del comportamiento conjunto se obtiene la respuesta estructural final real. Es decir, el pescante no soporta la mitad del forjado de piso y cubierta, suponiendo que la otra mitad iría al muro de carga del eje 07 (esta suposición surgiría de un análisis muy grosero), sino que recibe mucha menos carga como consecuencia de la transmisión de cargas hacia la parte posterior, en concreto hacia las pantallas tipo B de los ejes 03 y 05.

3.1.2 Pantallas tipo B y B*

Como se ha indicado en el anterior apartado, las pantallas tipo B y B* son fundamentales para liberar parcialmente de carga al pescante. En un primer análisis al inicio del proyecto, no se advirtió la enorme importancia que tienen estas dos pantallas en la estabilidad y rigidez del conjunto, y no fue hasta después del primer análisis con el modelo tridimensional, que se descubrió el efecto tremendamente favorable de estas pantallas en el comportamiento estructural del conjunto.

Del análisis de la distribución interior de la vivienda surgió la posibilidad de considerar ciertos elementos de separación entre estancias como elementos estructurales. De ahí surgieron las pantallas tipo B (B*) y C. Las pantallas tipo B (B*) llegan desde la cimentación hasta la cubierta, mientras que las pantallas tipo C sólo aparecen entre el forjado de piso y la cubierta, actuando realmente como costillas de unión o rigidización entre los dos forjados de losa maciza.

Las pantallas tipo B y B* se diferencian únicamente en que las que salen de las zapatas son de 300cm de largo (tipo B), pero dentro de la vivienda se recortan 30cm, quedando de 270cm de largo (tipo B*). Ambos tipos presentan 20cm de espesor y un armado similar, tal y como se puede apreciar en los planos del proyecto.

Aunque no son ni mucho menos tan rígidas como la pantalla tipo A del pescante, aportan mayor rigidez frente al desplazamiento horizontal del cuerpo volado, reduciendo el efecto de giro del nudo principal del pescante, y minimizando así la flecha en la punta del cuerpo en voladizo.

Pero su mayor efecto se traduce en una transmisión de cargas verticales desde los forjados (piso y cubierta) hacia la cimentación sin que dicha parte de carga tenga que llegar a cargar en el pescante o en el muro de carga del eje 07. Es decir, liberan de gran parte de la carga vertical de los forjados, por lo que se reduce gran parte del efecto negativo de la carga en la deformación del cuerpo volado. Sin estas pantallas, la carga de los forjados debería llegar hasta el pescante y el muro de carga del eje 07, produciéndose una deformación mucho mayor de la que realmente se consigue con su colaboración.

Por último cabe indicar que el efecto de recogida de carga desde los forjados (y, en consecuencia, liberación de carga del pescante) por parte de las pantallas tipo B depende en gran medida de la rigidez de los forjados de piso y cubierta. Dichos forjados se proyectan como losas macizas de 40cm de espesor, que aun siendo forjados muy rígidos para las situaciones usuales, en el caso de los 18.30mx10.80m de recuadro de forjado, no resultan, por mucho, de suficiente rigidez. La rigidez necesaria no sólo para poder cubrir el espacio indicado, sino también para poder optimizar el efecto de descarga del pescante hacia las pantallas tipo B, se consigue gracias a las costillas de unión o rigidización (pantallas tipo C).

En resumen, aunque el pescante es el elemento protagonista, se puede deducir que sin la ayuda de las pantallas tipo B, el pescante, por sí solo, no sería capaz de resolver el reto estructural planteado.

3.1.3 Pantallas tipo C

Como se ha comentado en el apartado anterior, estas pantallas o costillas de unión o rigidización tienen dos misiones que cumplir. En primer lugar, deben conseguir aumentar la rigidez de los forjados de losa maciza para que puedan cubrir el recuadro de 18.30mx10.80m tanto en forjado de piso como en el de cubierta. Y en segundo lugar, deben aumentar la rigidez de los forjados de tal forma que se maximice el efecto de recogida de carga por parte de las pantallas tipo B, y así reducir la carga que deba soportar el pescante del eje 01. En resumen, su misión es la de generar un aumento considerable de la rigidez de los forjados, con las dos consecuencias positivas ya mencionadas.

Por el contrario, estas pantallas no tienen misión de recoger cargas verticales, porque, de hecho, no las pueden recoger, ya que no llegan a la cimentación, tan sólo aparecen como conexión entre el forjado de piso y el de cubierta, es decir, tan sólo existen en la planta de la vivienda. Su origen reside en el estudio de la distribución interior de la vivienda, y las posibilidades de aprovechar los elementos de compartimentación interior para misiones estructurales. Se trata de pantallas o costillas de 20cm de espesor.

Es obvio que llegar a cubrir más de 18m con un forjado de 40cm de canto es prácticamente imposible. Sin embargo, si dos forjados de losa maciza de 40cm, separados aproximadamente 300cm entre sí, se conectan por medio de elementos suficientemente rígidos (las costillas o pantallas tipo C), se consigue un efecto de trabajo conjunto entre las dos losas que provoca un aumento enorme de la rigidez global. Las costillas o pantallas actúan a modo de alma que conecta las alas de un perfil metálico, siendo en este caso las alas, los dos forjados de losa maciza. En definitiva, el efecto de las pantallas tipo C es provocar el cambio de trabajo de dos losas de 40cm, por un macроеlemento estructural de 340cm de canto, con alas de 40cm de espesor.

El aumento de rigidez es tan enorme, que se consigue un comportamiento conjunto de gran eficacia. Sin las costillas (pantallas tipo C), el efecto de las pantallas tipo B sería mucho menor, prácticamente despreciable. Así que sin las pantallas tipo C, las pantallas tipo B no funcionarían, y en consecuencia, el pescante no sería capaz de soportar los esfuerzos derivados de suspender la caja de la vivienda en voladizo. Por otro lado, las pantallas tipo C o costillas de rigidización no se pueden entender de forma independiente a los forjados de losa maciza, pues las unas sin los otros, y los otros sin las unas, no podrían cubrir la luz de 18.30m entre los ejes 01 y 07.

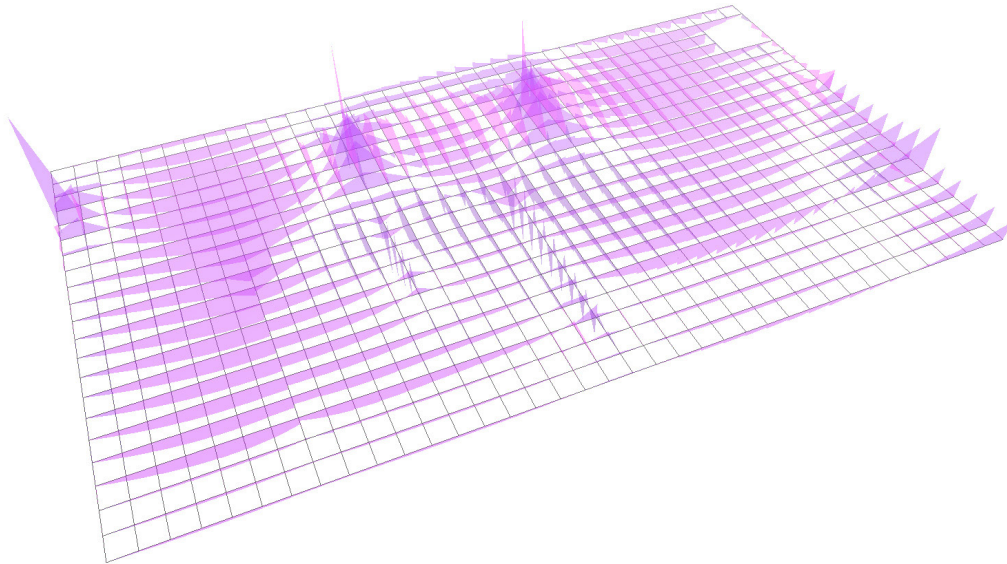
La conclusión es que la respuesta estructural movilizada para soportar el cuerpo volado de la vivienda implica a todos los elementos estructurales, desde la cimentación (anclajes y zapatas), el pescante del eje 01, el muro de carga del eje 07, las pantallas tipo B (y B*) en los ejes 03 y 05, las costillas de rigidización o pantallas tipo C de los ejes 02, 04 y 06, y las losas macizas de 40cm de espesor. Sin un análisis global y unitario de todos los elementos trabajando simultáneamente, resulta imposible entender el diseño propuesto para la estructura.

3.1.4 Losas macizas de 40cm

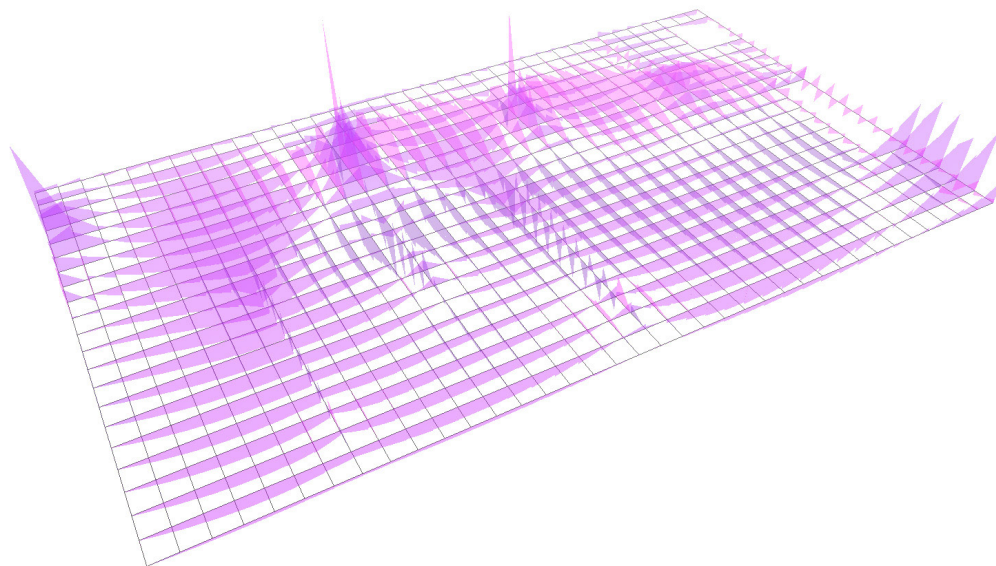
Tal y como ya se ha indicado, los forjados de losa maciza funcionan estructuralmente de forma inseparable con las costillas de rigidización (pantallas tipo C) en el objetivo de recibir las cargas y transmitir las a los elementos verticales capaces de conducir las hasta la cimentación (pantallas tipo B y pescante del eje 01).

El funcionamiento conjunto de los dos forjados gracias a la rigidización (a modo de alma) de las pantallas tipo C, permite un comportamiento de flexión enormemente más eficaz, pudiéndose obtener unas cuantías de armado realmente reducidas, en relación a las luces y el voladizo proyectado.

A continuación se muestran las leyes de flexión de los dos forjados de losa maciza de 40cm, de las que se han obtenido los esquemas de armado reflejados en los planos del proyecto de ejecución.



Flectores del forjado de losa de la cubierta.



Flectores del forjado de losa del piso.

En ambos casos se obtienen diagramas similares de flexión, lo que se traduce en esquemas de armado y refuerzo muy similares en ambas plantas. Con el objetivo de simplificar el esquema de ferralla y su control en obra, se ha unificado en la medida de lo posible, disponiéndose un armado de base $\varnothing 16\text{c}/20\text{cm}$, que se refuerza bien con $\varnothing 16\text{c}/20\text{cm}$ o con $\varnothing 20\text{c}/20\text{cm}$, tal y como se indica en los planos del proyecto de ejecución.

Por último, indicar, tal y como se refleja en los planos del proyecto, que tanto el forjado de piso, como el de cubierta presentan rebajes del canto del forjado en el borde sur (fachada).

3.1.5 Viga de canto eje 07

Aunque este elemento no tiene una repercusión relevante en el comportamiento conjunto de la estructura frente al cuerpo volado de la vivienda, sí cabe destacar que se trata de una viga en voladizo de gran longitud (460cm) que cuenta con 30cm de ancho y 95cm de canto. El canto puede parecer insuficiente para la longitud del voladizo que debe salvar en la esquina noreste de la planta de la vivienda, pero el efecto de descarga de las pantallas tipo B resulta fundamental en este caso, de forma que la carga que realmente recibe este elemento en voladizo es mucho menor que si no se hubiese considerado la colaboración de las pantallas tipo B.

3.2 Otros

La parte de la estructura que presenta mayores retos, y precisa por lo tanto, de explicaciones y justificaciones más profundas, es la correspondiente al cuerpo de vivienda suspendido en voladizo desde la parte posterior (ver apartado 3.1), pero esta estructura cuenta con otros elementos menos singulares que deben ser indicados.

3.2.1 Muros y losas macizas

A pesar de que las luces a cubrir no superan en ningún caso los 6m, el resto de forjados (suelo del garaje y su cubierta) se siguen ejecutando con forjados de losa maciza, pero, en este caso, de 25cm de canto. Dichos forjados se apoyan en sus bordes en muros de carga y/o de contención de 30cm de espesor, formándose una serie de elementos rígidos a modo de cajas, como consecuencia de la presencia de muros en las dos direcciones ortogonales principales de la planta. La rigidez aportada por estos elementos se traduce en un aumento de la rigidez del conjunto de la estructura frente a los esfuerzos horizontales de viento y sismo, gracias al funcionamiento como diafragma en su plano de todos los forjados de losa maciza. En definitiva, los muros y losas macizas de la parte secundaria de la estructura ayudan a rigidizar lateralmente a todo el conjunto estructural.

Hay un muro especial que aparece en el eje D y que va desde la cimentación hasta justo debajo del forjado de planta de piso, y es el único elemento que no se ejecuta con elementos macizos de hormigón armado: el muro de bloque con senos armados y conectado a las pantallas tipo B, al pescante y a los muros próximos al ascensor. En los planos del proyecto se indica el armado que debe incluirse en los senos rellenos de hormigón y qué senos deben rellenarse, al igual que la posición y armado de los zunchos horizontales de rigidización. A la altura de dichos zunchos horizontales de rigidización (hormigón armado) se dispondrán 2 horquillas de Ø12 que se introducirán al menos 50cm dentro de las pantallas correspondientes (o, si no se pueden prolongar en recto, se doblarán en patilla de 20cm de largo) en cada punto de conexión.

3.2.2 Escalera y antepecho

La escalera se configura como un elemento estructural más dentro del conjunto de la estructura. Se trata de dos zancas de losa maciza de 15cm y un descansillo intermedio igualmente de losa maciza de 15cm de espesor. Dichas losas se sostienen en su conexión con la solera inferior (piscina) y el forjado superior (piso), pero sobre todo, porque surgen en voladizo desde el muro de carga del eje 07, tal y como se puede ver en los planos correspondientes del proyecto. El armado longitudinal es de Ø12c/20cm tanto en la capa superior como en la inferior, y el armado transversal (el principal) es de Ø12c/20cm en la capa inferior, y de Ø16c/20cm en la superior (la que trabaja a tracción en el voladizo desde el muro).

Adicionalmente, se proyecta un antepecho de hormigón armado de tan sólo 10cm de espesor que proporciona una rigidización extraordinaria al borde libre de las zancas y mesetas voladas de la escalera. Como contrapartida, se trata de un peso propio bastante importante en punto de voladizo, pero el resultado conjunto es favorable. Para poder disponer un armado adecuado en este elemento de antepecho, teniendo en cuenta los grandes recubrimientos necesarios en el ambiente previsto ([ver el apartado 3.5](#)), se debe recurrir a redondos Ø8 y separaciones menores, tal y como se indica en los planos correspondientes. El antepecho se ancla al borde del forjado de planta de piso de acuerdo a lo especificado en los detalles de los planos.

3.2.3 Piscina

Aunque el vaso de la piscina no presenta problemas estructurales especiales, vale la pena comentar la solución que se propone.

Hay que indicar que la piscina que se proyecta cuenta con un vaso profundo y una “zona de playa” de muy poca profundidad en el lado más próximo al borde la parcela (este). Con la intención de no intervenir en las proximidades del perímetro de la parcela, esta “zona de playa” de la piscina se resuelve como vaso volado desde el vaso principal. Esto se puede apreciar de forma más sencilla en los planos de secciones longitudinales.

El vaso más profundo se apoya en una losa de 40cm de espesor que actúa como cimentación (losa excéntrica) tanto del propio vaso de la piscina, como del extremo más al sur del muro de carga del eje 07.

3.3 Estabilidad horizontal del conjunto

Ya se ha comentado anteriormente que las pantallas tipo B, la pantalla tipo A del pescante y la caja rígida que se configura con los muros cruzados del resto de la estructura ofrecen un elevado grado de rigidez frente a las acciones horizontales.

De hecho, la hipótesis de cargas de viento y la hipótesis de cargas de sismo no resultan más desfavorables que la hipótesis de cargas verticales, ya que la magnitud de los esfuerzos implicados en el voladizo del cuerpo de vivienda es tan enorme que hace prácticamente despreciables los otros efectos, incluso cuando las cargas actúan en la dirección más desfavorable.

La estabilidad horizontal del conjunto en la dirección de los ejes verticales (números) queda asegurada por las pantallas y el núcleo rígido en la zona del garaje, y la estabilidad en la dirección de los ejes horizontales (letras) queda supeditada al efecto de rigidización del núcleo rígido formado por los muros en cajón y las losas macizas de los forjados. En ambos casos, la rigidez es tan enorme (sobre todo teniendo en cuenta la escasa altura de la construcción, que los esfuerzos horizontales no provocan estados relevantes de esfuerzos.

El nivel de las acciones horizontales es relativamente reducido por tratarse de una construcción de muy reducida altura, aunque dado su carácter de situación expuesta (cerca de la playa y en una ladera escarpada) se ha considerado ([ver 4.2](#)) una presión dinámica de 75kg/m^2 , lo que supone un empuje total de 90kg/m^2 (60kg/m^2 de presión y 30kg/m^2 de succión).

Con independencia de la posible justificación en relación al artículo 1.2.3 de la norma NCSE-02 (pórticos debidamente arriostrados por el efecto diafragma de las losas macizas), la singularidad de la estructura proyectada unido a la localización geográfica de la misma, ha llevado a la decisión de aplicar las acciones sísmica, aun cuando pudieran no ser de obligada aplicación.

De acuerdo a lo indicado más adelante ([ver apartado 4.3](#)), se obtiene una aceleración de cálculo de 0.05g.

3.4 Juntas de dilatación y estructurales

Dadas las reducidas dimensiones de esta estructura, no se precisan juntas de dilatación para la misma.

Por otro lado, dado el carácter unitario y monolítico que se ha perseguido en todo momento para el adecuado funcionamiento conjunto de todos los elementos estructurales, no cabe la posibilidad de realizar ningún tipo de junta, salvo las propias del proceso de hormigonado. Estas no presentan el inconveniente de quedar vistas en el resultado final, por lo que su situación final se podrá decidir de forma más libre y sencilla durante el proceso de ejecución.

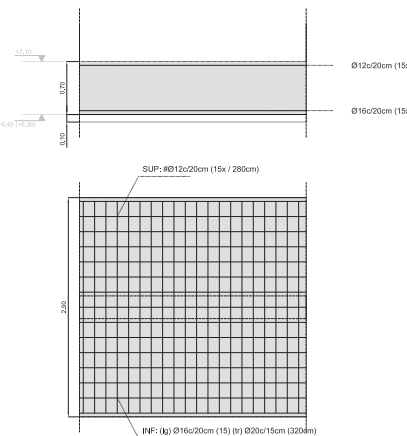
3.5 Armaduras y recubrimientos

En la estructura aérea se emplea redondos corrugados de diversos diámetros como Ø20, Ø16 y Ø12 para armaduras longitudinales (salvo los Ø8 del antepecho de la escalera) y Ø8 para cercos y estribos. Toda esta armadura será de tipo B500SD, de alta ductilidad para compensar la pérdida de ductilidad que supone el uso de acero B500 con respecto al acero B400.

Los recubrimientos netos serán de al menos 40mm en todas las piezas. Este aspecto es fundamental, dado que la estructura queda encuadrada dentro del ambiente IV. Para más información se hace referencia a los planos de detalle y cajetines.

3.6 Materiales

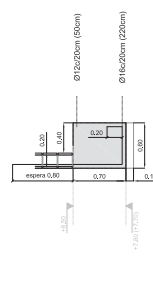
Para todos los elementos de hormigón armado se ha empleado HA-35 ($f_{ck}=35\text{N/mm}^2$). Para más especificaciones véase el cajetín en planos de estructura. Para las armaduras del forjado se adoptará el acero B500SD.



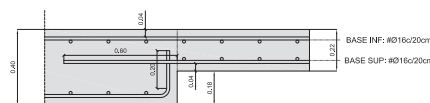
Ø12 - 50cm
Ø16 - 80cm
Ø20 - 120cm

ZAPATA TIPO 3 (ZAPATA CORRIDA)

SE APROVECHARA LA EJECUCION DE LOS ANCLAJES PARA REALIZAR UN SONDEO EN PROFUNDIDAD DE LA ROCA, YA QUE EL ESTUDIO GEOTECNICO EXISTENTE NO LO INCLUYE, CON LA INTENCION DE DETECTAR POSIBLES DISCONTINUIDADES O SUPERFICIES DE FALLA POR DESLIZAMIENTO.



ZAPATA TIPO 6 (ZAPATA CORRIDA)







LOSA MACIZA 22cm
(REBAJE DE LA LOSA MACIZA 40cm)

DATOS NORMA SISMICA NCSE-02	
CAUPE (ALICANTE)	
ACELERACION BASICA a_b	0.00g
COEF. CONTRIBUCION K	1.00
COEF. TERRENO C	1.00
COEF. RIESGO ρ	1.00
COEF. AMPLIFICACION S	0.52
ACELERACION CALCULO a_c	0.00g
COEF. AMORTIGUAMIENTO ξ	4%
COEF. DUCTILIDAD μ	2
COEF. RESPUESTA β	0.50

NOTAS

LAS COTAS INTERIORES SON DE NUNCA MEDIR LOS DIBUJOS. CUALQUIER CADA EN LA INTERP. A LA DIRECCION FACULTATIVA LA COTA (0,00) SE CORRESPONDE LOS EJES X-Y DE LA PROYECC. NORTE-SUR DEL TOPOGRAFICO

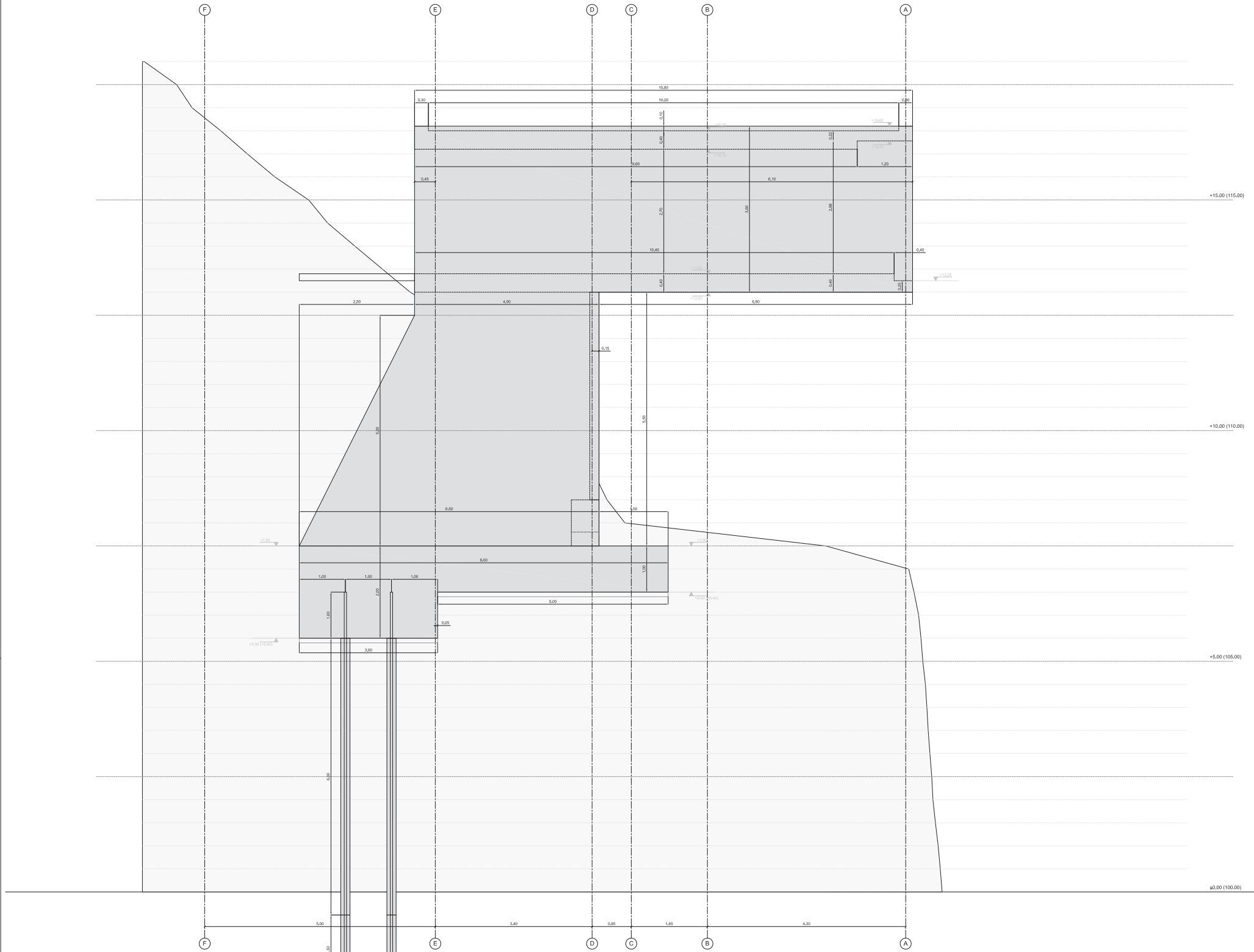
LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA

	DETECTOR TERMOVELOCIMETRICO		DISPOSITIVO ACUSTICO
	PULSADOR DE ALARMA		CENTRAL DE ALARMA

LA UBICACION DEFINITIVA DE ESTOS ELEMENTOS SE REALIZARA SEGUN LOS CRITERIOS DEFINIDOS POR LA EMPRESA INSTALADORA EN BASE A LA NORMA UNE 23.007

PROYECTO	VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA. PROYECTO DE EJECUCIÓN
SITUACIÓN	CALPE (Alicante) Sector 29 Toix_Masarat, parcela 8
PROMOTOR	FERNANDO SEMPERE MONTES

8.1.2
CIMENTACION
ARMADO



ELEVACION		
HORMIGON		
TIPO DE ACCION	Nivel de control	Coef. seguridad (E.L.U.)
Perme. no calc.	Normal	1.00
Variedad	Normal	0.90
Accidental	Normal	0.90
ACERO		
TIPO DE ACCION	Nivel de control	Coef. seguridad (E.L.U.)
Perme. no calc.	Normal	1.00
Variedad	Normal	0.90
Accidental	Normal	0.90

ACCIONES (N/m²)				
PERCHA SOLERA 15cm	GARAJE LOSA MACIZA 25cm	VIVIENDA LOSA MACIZA 40cm	CUBIERTA GARAJE LOSA MACIZA 25cm	CUBIERTA LOSA MACIZA 40cm
Peso propio 3.75	Peso propio 6.25	Peso propio 10.00	Peso propio 6.25	Peso propio 10.00
Sobrado 1.50	Sobrado 1.50	Sobrado (enl) 1.00	Sobrado 1.50	Sobrado 1.50
Tabiquería 1.00	F. techo+inst. 0.50	F. techo+inst. 0.50	F. techo+inst. 0.50	F. techo+inst. 0.50
S. uso 4.00	S. uso 4.00	F. techo+inst. 0.50	S. uso 3.00	S. uso 3.00
		Tabiquería (enl) 1.00	S. nieve 0.40	S. nieve 0.40
		S. uso (enl) 2.00		
		S. uso (enl) 2.00		
		S. uso (enl) 2.00		
TOTAL 10.25	TOTAL 12.0	TOTAL (interior) 14.5	TOTAL 12.00	TOTAL 13.0
		TOTAL (exterior) 14.0		

TIPIFICACION DEL HORMIGON				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO de hormigón	Modulidad de control	Coef. parcial de seguridad	Resistencia calculada
Orientación	H/A-20/00/00	Estadística (3)	1.0 (prev. 1.35)	23.3 N/mm²
Muros	H/A-20/00/00	Estadística (3)	1.0 (prev. 1.35)	23.3 N/mm²
Forjados	H/A-20/00/00	Estadística (3)	1.0 (prev. 1.35)	23.3 N/mm²
Vigas + Zunchos	H/A-20/00/00	Estadística (3)	1.0 (prev. 1.35)	23.3 N/mm²

CARACTERISTICAS RESISTENTES DEL ACERO				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	TIPO de acero	Modulidad de control	Coef. parcial de seguridad	Resistencia Resistencia mínima (mm)
Orientación	B500SD	Normal	1.0 (prev. 1.0)	435 N/mm²
Muros	B500SD	Normal	1.0 (prev. 1.0)	435 N/mm²
Forjados	B500SD	Normal	1.0 (prev. 1.0)	435 N/mm²
Vigas + Zunchos	B500SD	Normal	1.0 (prev. 1.0)	435 N/mm²

DATOS NORMA SERRA NCSE-02	
CALPE (ALICANTE)	
ACELERACION BASICA a_b	0.09g
COEF. CONTRIBUCION K	1.00
COEF. TERRENO C	1.00
COEF. PESO γ	1.00
COEF. AMPLIFICACION S	0.00
ACELERACION CALCULO a_c	0.09g
COEF. AMORTIGUAMIENTO α	4%
COEF. DUCTILIDAD μ	2
COEF. RESPUESTA β	0.90

PLANTAS	
●	NIVEL SUPERIOR ELEM. ESTRUCTURAL
○	NIVEL INFERIOR ELEM. ESTRUCTURAL
○	NIVEL ACABADO
○	NIVEL BRUTO
○	ALTURA DE ACABADO
○	ALTURA DE BRUTO

SECCIONES	
○	NIVEL ACABADO
○	NIVEL BRUTO

CORRUGO CARP. INTERIOR	
○	TIPO DE PUERTA

CORRUGO CARP. EXTERIOR	
○	TIPO DE CARPINTERIA

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

CORRUGO CARP. INTERIORES Y TABICUERIA	
○	ACABADO
○	ACABADO

LEYENDA DE CFI	
○	ALUMBRADO DE EMERGENCIA
○	ALUMBRADO DE EMERGENCIA SALIDA
○	ALUMBRADO DE EMERGENCIA SIN SALIDA
○	EXTINTOR 21A-11.3B

LEYENDA DE CFI	
○	BOCA DE INCENDIO EQUIPADA
○	DETECTOR DE CO
○	VENTILACION FORZADA

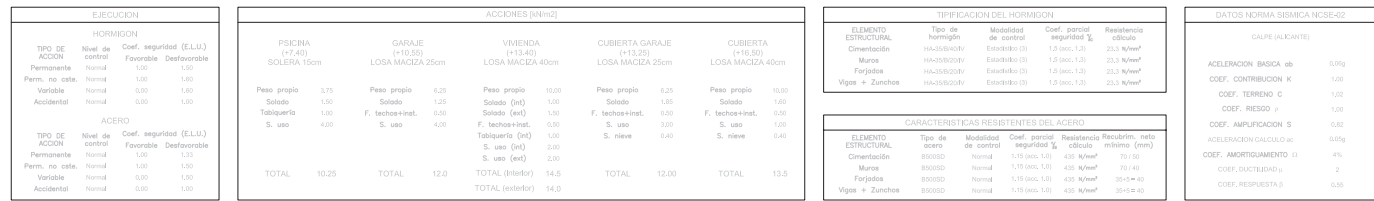
LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA	
○	DETECTOR TERMOCROMOMETRICO
○	DISPOSITIVO ACUSTICO
○	ALARMA DE EMERGENCIA
○	ALARMA DE EMERGENCIA SIN SALIDA
○	ALARMA DE EMERGENCIA SIN SALIDA

LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA	
○	ALARMA DE EMERGENCIA
○	ALARMA DE EMERGENCIA SIN SALIDA

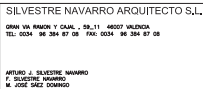
LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA	
○	ALARMA DE EMERGENCIA
○	ALARMA DE EMERGENCIA SIN SALIDA

LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA	
○	ALARMA DE EMERGENCIA
○	ALARMA DE EMERGENCIA SIN SALIDA

LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA	
○	ALARMA DE EMERGENCIA
○	ALARMA DE EMERGENCIA SIN SALIDA



LEYENDA DE CPI		LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA	
	ALUMBRADO DE EMERGENCIA		DETECTOR TERMVOLUMETRICO
	ALUMBRADO DE EMERGENCIA SALIDA		PULSADOR DE ALARMA
	ALUMBRADO DE EMERGENCIA SIR SALIDA		DISPOSITIVO ACUSTICO
	EXTINTOR 21A-113B		CENTRAL DE ALARMA
	BOCA DE INCENDIO EQUIPADA	LA UBICACION DEFINITIVA DE ESTOS ELEMENTOS SE REALIZARA SEGUN LOS CRITERIOS DEFINIDOS POR LA EMPRESA INSTALADORA EN BASE A LA NORMA UNE 23.007	
	DETECTOR DE CO		
	VENTILACION FORZADA		

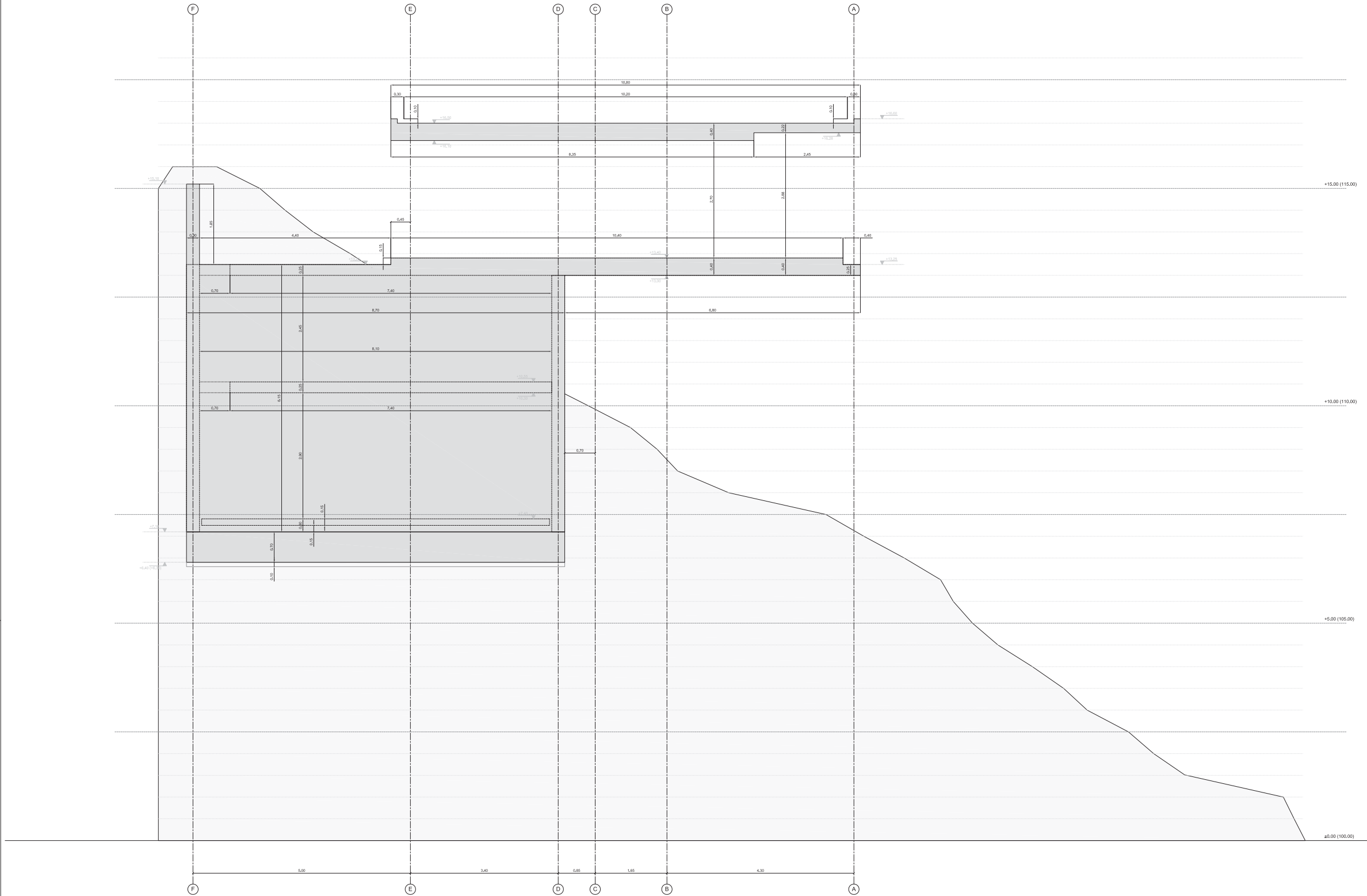


8.6.2

SECCIONES TRANSVERSALES

EJE 02

DIC 2005 | 1:50



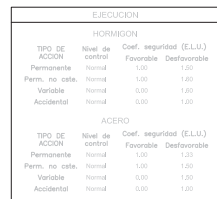
ELEVACION		
HORMIGON		
TIPO DE ACCION	Nivel de control	Coef. seguridad (E.L.U.)
Permanente	Normal	Favorable Desfavorable
Perm. no cat.	Normal	1,00 1,40
Variable	Normal	0,90 1,30
Accidental	Normal	0,90 1,00
ACERO		
TIPO DE ACCION	Nivel de control	Coef. seguridad (E.L.U.)
Permanente	Normal	Favorable Desfavorable
Perm. no cat.	Normal	1,00 1,30
Variable	Normal	0,90 1,20
Accidental	Normal	0,90 1,00

ACCIONES (kN/m²)					
PISCINA (+10,00)		GARAJE (+13,40)		VIVIENDA (+13,40)	
SOLERA 15cm		LOSA MACIZA 25cm		LOSA MACIZA 40cm	
Peso propio	3,75	Peso propio	6,25	Peso propio	10,00
Solado	1,00	Solado	1,25	Solado	1,00
Tabiquería	1,00	F. techo+inst.	0,50	F. techo+inst.	0,50
S. uso	4,00	S. uso	4,00	S. uso	2,00
TOTAL		TOTAL		TOTAL (interior)	
10,25		12,00		14,50	
				TOTAL (exterior)	
				14,00	

TIPIFICACION DEL HORMIGON				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Tipo de hormigón	Modulidad de control	Coef. parcial de control	Resistencia característica
Orientación	H0A20B0A01	Estadística (3)	1,0 (acc. 1,3)	23,3 N/mm²
Muros	H0A20B0B01	Estadística (3)	1,0 (acc. 1,3)	23,3 N/mm²
Forjados	H0A20B0B01	Estadística (3)	1,0 (acc. 1,3)	23,3 N/mm²
Vigas + Zunchos	H0A20B0B01	Estadística (3)	1,0 (acc. 1,3)	23,3 N/mm²

CARACTERISTICAS RESISTENTES DEL ACERO				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Tipo de acero	Modulidad de control	Coef. parcial de control	Resistencia característica
Orientación	B500SD	Normal	1,0 (acc. 1,0)	435 N/mm²
Muros	B500SD	Normal	1,0 (acc. 1,0)	435 N/mm²
Forjados	B500SD	Normal	1,0 (acc. 1,0)	435 N/mm²
Vigas + Zunchos	B500SD	Normal	1,0 (acc. 1,0)	435 N/mm²

DATOS NORMA SERRA MC85-82	
CALPE (ALICANTE)	
ACELERACION BASICA a_b	0,09g
COEF. CONTRIBUCION K	1,00
COEF. TERRENO C	1,00
COEF. RESON. γ	0,00
COEF. AMPLIFICACION S	0,00g
ACELERACION CALCULO a_c	0,09g
COEF. AMORTIGUAMIENTO α	4%
COEF. DUCTILIDAD μ	2
COEF. RESPUESTA β	0,90







TIPIFICACION DEL HORMIGÓN				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Tipo de hormigón	Modalidad de control	Coef. parcial seguridad %	Resistencia cálculo
Cimentación	H4-15/40/0	Estadístico (5)	1,5 (acc. 12)	23,5 N/mm ²
Muros	H4-15/30/0	Estadístico (5)	1,5 (acc. 12)	23,5 N/mm ²
Forjados	H4-15/30/0	Estadístico (5)	1,5 (acc. 12)	23,5 N/mm ²
Vigas + Zunchos	H4-15/30/0	Estadístico (5)	1,5 (acc. 12)	23,5 N/mm ²

DATOS FORMA SISMICA NCSE-02	
CALPE (ALICANTE)	
ACELERACION BASICA a_b	0.09g
COEF. CONTRIBUCION K	1.00
COEF. TERRENO C	1.00
COEF. RIESGO r	1.00
COEF. AMPLIFICACION S	0.80
ACELERACION CALCULO a_c	0.09g
COEF. AMORTIGUAMIENTO ξ	4%
COEF. DUCTILIDAD μ	2
COEF. RESPUESTA β	0.86

	NOTAS
NSLM, TERMO	LAS COTAS INTERIORES SON DE REPLANTO Y ESTAN REFERIDAS A TABQUERA EN BRUTO.
MPRIMEABILIZ	NUNCA MEDIR LOS DIBUJOS.
YESO	CUANDO SE HAGA LA INTERPRETACION DE ESTE PLANO DEBERA SER CONSULTADA A LA DIRECCION FACULTATIVA.
	LA COTA (0,00) SE CORRESPONDE CON LA COTA (+100,00) DEL TOPOGRAFICO
	LOS EJES X-Y DE LA PROPUESTA ESTAN GRADOS 16 GRADOS RESPECTO AL EJE NORTE-SUR DEL TOPOGRAFICO

BOCA DE INCENDIO EQUIPADA
DETECTOR DE CO
VENTILACION FORZADA

LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA

	DETECTOR TERMOMECANICO		DISPOSITIVO ACUSTICO
	PULSADOR DE ALARMA		CENTRAL DE ALARMA

LA UBICACION DEFINITIVA DE ESTOS ELEMENTOS SE REALIZARA SEGUN LOS CRITERIOS DEFINIDOS POR LA EMPRESA INSTALADORA EN BASE A LA NORMA UNE 23.007

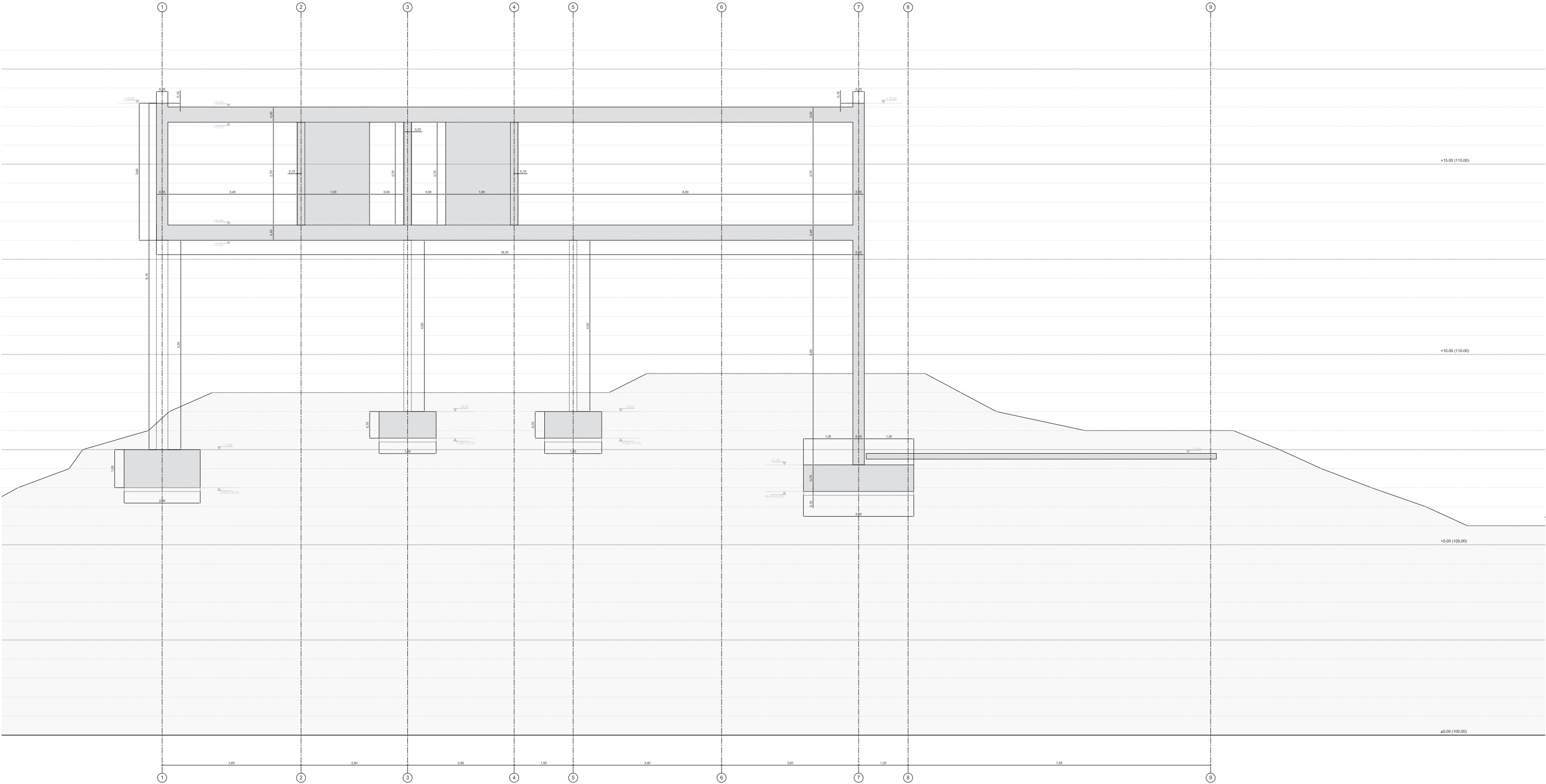


SILVESTRE NAVARRO ARQUITECTO S.L.
GRAN VIA RAMON Y CAJAL, 59-11 46007 VALENCIA
TEL: 0034 96 354 87 05 FAX: 0034 96 354 87 05

ARTURO J. SILVESTRE NAVARRO
F. SILVESTRE NAVARRO
M. JOSÉ SÁEZ DOMINGO

PROYECTO	VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA. PROYECTO DE EJECUCIÓN
SITUACIÓN	CALPE (Alicante) Sector 29 Toix_Masarat, parcela 8
PROMOTOR	FERNANDO SEMPERE MONTES

8.6.9
SECCIONES TRANSVERSALES
EJE 09
DIC 2005 | 1:50



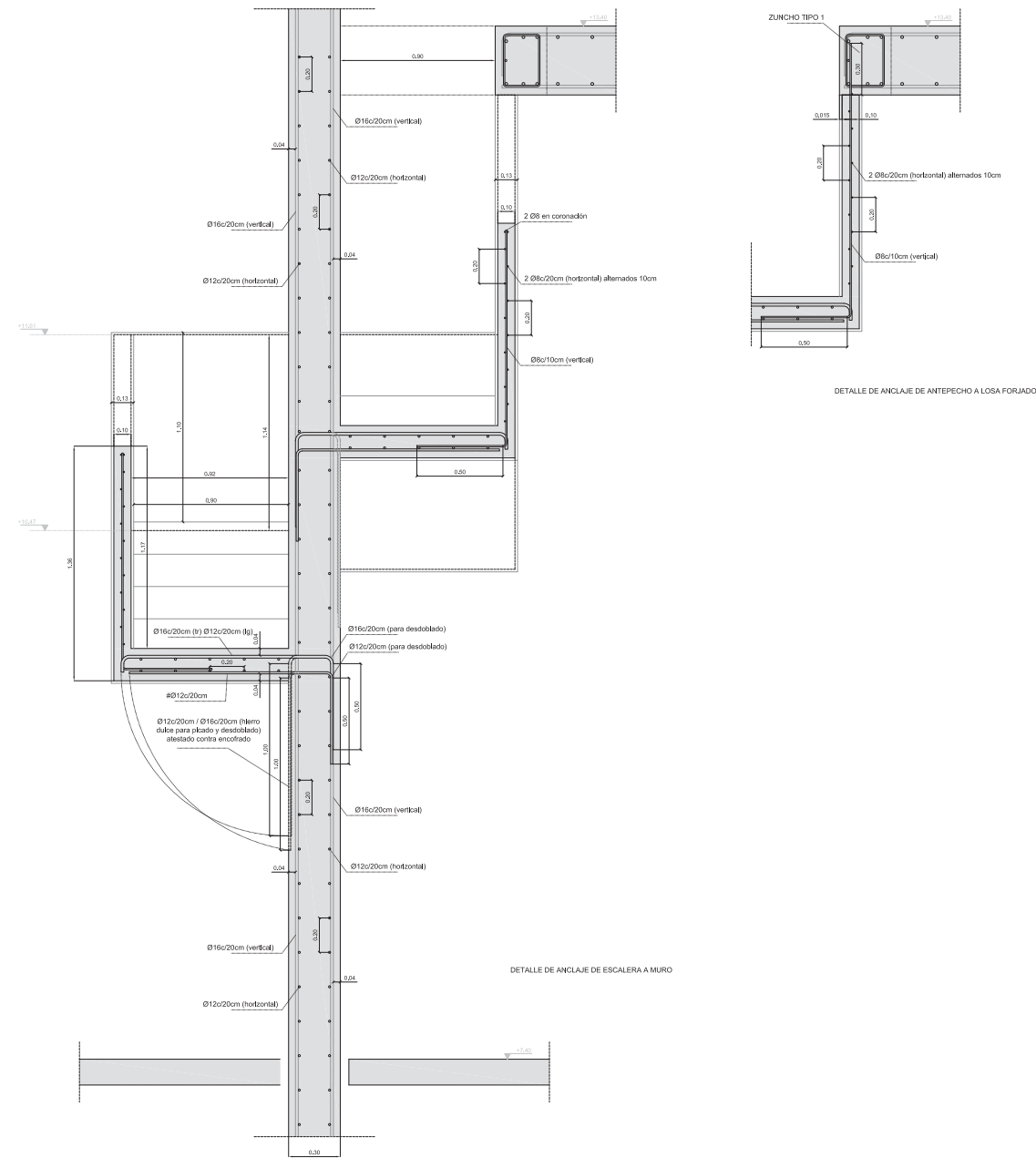
EJECUCIÓN		
HORMIGÓN		
TIPO DE ACCIÓN	Nivel de control	Coef. seguridad (E.L.U.)
Permanente	Normal	1,50
Accidental	Normal	1,50
Accidental	Normal	1,50
ACERO		
TIPO DE ACCIÓN	Nivel de control	Coef. seguridad (E.L.U.)
Permanente	Normal	1,50
Accidental	Normal	1,50
Accidental	Normal	1,50

ADICIONALES (MATERIALES)				
PERCHAS	GARAJE	VIVIENDA	CUBIERTA GARAJE	CUBIERTA
LOSA MACIZA 15cm	LOSA MACIZA 25cm	LOSA MACIZA 40cm	LOSA MACIZA 25cm	LOSA MACIZA 40cm
Peso propio 3,75	Peso propio 6,25	Peso propio 10,00	Peso propio 6,25	Peso propio 10,00
Solado 1,00	Solado 1,00	Solado (enl) 1,00	Solado 1,00	Solado 1,00
Tabiquería 1,00	F. techo+inst. 0,50	F. techo+inst. 0,50	F. techo+inst. 0,50	F. techo+inst. 0,50
S. uso 4,00	S. uso 4,00	F. techo+inst. 0,50	S. uso 2,00	S. uso 2,00
		Tabiquería (enl) 1,00	S. nieve 0,40	S. nieve 0,40
		S. uso (enl) 2,00		
		S. uso (enl) 2,00		
TOTAL 10,25	TOTAL 12,0	TOTAL (interior) 14,5	TOTAL 12,00	TOTAL 13,5
		TOTAL (exterior) 14,0		

TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Tipos de hormigón	Modulidad de control	Coef. parcial seguridad	Resistencia característica
Orientación	H04200001	Estadístico (1)	1,5 (prev. 1,35)	23,3 N/mm²
Muros	H04200001	Estadístico (1)	1,5 (prev. 1,35)	23,3 N/mm²
Forjados	H04200001	Estadístico (1)	1,5 (prev. 1,35)	23,3 N/mm²
Vigas + Zunchos	H04200001	Estadístico (1)	1,5 (prev. 1,35)	23,3 N/mm²

CARACTERÍSTICAS RESISTENTES DEL ACERO				
ELEMENTO ESTRUCTURAL	Tipos de acero	Modulidad de control	Coef. parcial seguridad	Resistencia característica
Orientación	B500SD	Normal	1,15 (prev. 1,0)	435 N/mm²
Muros	B500SD	Normal	1,15 (prev. 1,0)	435 N/mm²
Forjados	B500SD	Normal	1,15 (prev. 1,0)	435 N/mm²
Vigas + Zunchos	B500SD	Normal	1,15 (prev. 1,0)	435 N/mm²

DATOS NORMA ESPAÑA NCSE-02	
CLASE (ALICANTE)	CLASE (ALICANTE)
ACELERACIÓN BÁSICA a_b	0,09g
COEF. CONTRIBUCIÓN K	1,00
COEF. TERRENO C	1,00
COEF. RESONANCIA η	0,05
COEF. AMPLIFICACIÓN S	0,09g
ACELERACIÓN CALCULADA a_c	0,09g
COEF. AMORTIGUAMIENTO ξ	4%
COEF. DUCTILIDAD μ	2
COEF. RESPUESTA β	0,90



Technical drawing of a rectangular structure, likely a window or door frame, showing dimensions and labels. The drawing includes a top view and a side view. The top view shows a rectangle with a width of 1.10 and a height of 0.50. The side view shows a rectangle with a width of 0.10 and a height of 0.50. The labels indicate the dimensions and the structure's components.





Dimensions and labels:

- Top view width: 1.10
- Top view height: 0.50
- Side view width: 0.10
- Side view height: 0.50
- Label: 2 Ø8c/25cm (horizontal) alternados 10cm
- Label: Ø8c/10cm (vertical)

DETALLE DE ANCLAJE DE ANTEPECHO A LOSA FORJADA

DATOS NORMA DINAMICA NCSE-02	
CALPE (ALICANTE)	
ACELERACION BASICA a_b	0.09g
COEF. CONTRIBUCION K	1.00
COEF. TERRENO C	1.02
COEF. RIESGO μ	1.00
COEF. AMPLIFICACION S	0.62
ACELERACION CALCULO a_c	0.09g
COEF. AMORTIGUAMIENTO ξ	4%
COEF. DUCTILIDAD δ	2
COEF. RESPUESTA β	0.58

LEYENDA INSTALACION DE DETECCION Y ALARMA

	DETECTOR TERMVELOCMETRICO		DISPOSITIVO ACUSTICO
	PULSADOR DE ALARMA		CENTRAL DE ALARMA

LA UBICACION DEFINITIVA DE ESTOS ELEMENTOS SE REALIZARA SEGUN LOS CRITERIOS
DEFINIDOS POR LA EMPRESA INSTALADORA EN BASE A LA NORMA UNE 23.007

SILVESTRE NAVARRO ARQUITECTO S.L.
GRAN VÍA RAMÓN Y CAJAL, 59-11 46007 VALENCIA
TEL: 0034 96 384 87 08 FAX: 0034 96 384 87 08

ARTURO J. SILVESTRE NAVARRO

PROYECTO	VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA, PROYECTO DE EJECUCIÓN
SITUACIÓN	CALPE (Alicante) Sector 29 Toix_Masarat, parcela 8

